

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Laboratorio de Sistemas Inteligentes



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DE CONTROL DE UN MICROROBOT (EUROBOT 2009)

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Autor:

Estrella García Guerrero

Tutor:

José María Armigol Moreno

Madrid, Octubre 2009

Agradecimientos

Quería agradecer la inestimable ayuda de las personas que han hecho posible la realización y finalización de este proyecto.

En primer lugar a José María Armingol, no solo por darme la oportunidad de realizarlo, sino también por la disponibilidad y dedicación para este proyecto, sobre todo en la etapa final en la que todo eran prisas y se necesitaba realizar las cosas para "ya".

A mis compañeros de proyecto: Laura, Vicky, Alberto y Diego, que lo han dado todo por este proyecto, le han dedicado horas que no tenían y me han aguantado durante todo este año, que reconozco no ha sido fácil.

A los técnicos de laboratorio José, Fernando y Guille, que nos han ayudado con todas nuestras dificultades. Pero sobre todo a Guille, que más que un técnico de laboratorio parecía otro compañero de proyecto, porque con su buen humor nos ha alegrado tantas mañanas y tardes, y se ha convertido en un amigo.

A mi familia por entender la necesidad de dedicar tantas horas a este proyecto y asumir, aunque no sin comentar, la ausencia de mi persona en casa, que este proyecto y demás obligaciones y aficiones han provocado.

A mis amigos y otras personas especiales de mi vida por creer en mí y darme fuerzas para no rendirme.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

ÍNDICE	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	6
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	9
- 1.1 Estructura de la memoria	10
- 1.2 Objetivos	12
- 1.3 Introducción a la robótica	12
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	14
- 2.1 Historia de la robótica	14
- 2.2 Clasificación de los robots	23
- 2.3 Robótica actual	27
- 2.4 Microrobótica	29
- 2.5 Eurobot	31
2.5.1 Ediciones anteriores	32
CAPÍTULO 3: EL PROBLEMA Y LA SOLUCIÓN	38
- 3.1 Problema: Prueba 2009	38
3.1.1 Aspectos generales	38
3.1.2 Elementos de juego	42
3.1.2.1 Piezas	42
3.1.2.2 Área de juego	44
- 3.2 Estrategia y descripción general del microrobot	49
CAPÍTULO 4: SISTEMA FÍSICO-MECÁNICO	53
- 4.1 ESTRUCTURA FÍSICA Y SISTEMA MANIPULADOR	53
4.1.1 Estructura base	53
4.1.2 Cinta, motor y placa control del motor	54
4.1.3 Servomotores	56
4.1.4 Recogida	57
4.1.5 Manipulación	58
4.1.6 Construcción	59

- 4.2 SISTEMA LOCOMOTOR Y DE POSICIONAMIENTO	60
4.2.1 Motores y ruedas	60
4.2.2 Encoders	62
4.2.3 Sistema de odometría	63
4.2.4 Placa motores (drivers)	64
 CAPÍTULO 5: ADQUISICIÓN DE DATOS Y ELECTRÓNICA DE CONTROL	 65
- 5.1 SISTEMA SENSORIAL	65
5.1.1 Posición de sensores	65
5.1.2 Bumpers	66
5.1.3 Sensores infrarrojos	67
5.1.4 Placa acondicionamiento señal	69
- 5.2 CONTROL	72
5.2.1 Placa base	72
5.2.2 Microprocesador 8052	73
 CAPÍTULO 6: ALIMENTACIÓN Y CONEXIÓN	 77
- 6.1 ALIMENTACIÓN	77
6.1.1 Batería	77
6.1.2 Placas de potencia	78
6.1.2.1 Placa de 5V	79
6.1.2.2 Placa de 7,2V	79
- 6.2 INTERCONEXIONADO DE PLACAS Y OTROS ELEMENTOS	81
6.2.1 Placas de potencia	82
6.2.2 Placa intermedia	82
6.2.3 Placa base	84
6.2.4 Placa del microcontrolador 8052	85
6.2.5 Placas de condicionamiento de señal	86
6.2.6 Placa de control de motores	87
6.2.7 Conexión general	89
 CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y MEJORAS	 90
- 7.1 Conclusiones	90
- 7.2 Mejoras	91



CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO	92
- 8.1 Costes de material	92
8.1.1 Estructura	92
8.1.2 Sistema de construcción	92
8.1.3 Sistema electrónico y de control	93
8.1.4 Sistema locomotor	94
8.1.5 Campo de pruebas	94
- 8.2 Costes de personal	95
- 8.3 Coste total	95
 CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFIA	 96
- 9.1 Recursos bibliográficos	96
- 9.2 Recursos electrónicos	96
 CAPÍTULO 10: ANEXOS	 98

ÍDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 2.1: Pájaros de Heron</i>	15
<i>Ilustración 2.2: Caja mágica de Heron</i>	15
<i>Ilustración 2.3: Altar mágico</i>	15
<i>Ilustración 2.4: Puertas de Heron</i>	15
<i>Ilustración 2.5: Gallo de Estrasburgo</i>	16
<i>Ilustración 2.6: Pato de Vaucanson</i>	17
<i>Ilustración 2.7: El turco de Von Kempelen.</i>	17
<i>Ilustración 2.8: Telar de Jacquard.</i>	18
<i>Ilustración 2.9: ELSIE</i>	21
<i>Ilustración 2.10: SACKY</i>	21
<i>Ilustración 2.11: MARS-ROVER</i>	22
<i>Ilustración 2.12: MAGUI</i>	25
<i>Ilustración 2.13: Rh-1</i>	25
<i>Ilustración 2.14: ASIMO</i>	25
<i>Ilustración 2.15: Robots zoomórficos</i>	25
<i>Ilustración 2.16: Robots poliarticulados</i>	25
<i>Ilustración 2.17: Robots de aplicación industriales</i>	26
<i>Ilustración 2.18: Collage de diferentes robots de servicio</i>	26
<i>Ilustración 2.19: Robots industriales</i>	27
<i>Ilustración 2.20: Robot artificieros de los TEDAX</i>	27
<i>Ilustración 2.21: Robot Da Vinci</i>	27
<i>Ilustración 2.22: Robot ASIMO</i>	29
<i>Ilustración 2.23: Exoesqueleto de Honda</i>	29
<i>Ilustración 2.24: Sistema clasificatorio final europea Eurobot</i>	31
<i>Ilustración 2.25: Eurobot 1998. Fútbol</i>	32
<i>Ilustración 2.26: Eurobot 1999. Ataque al castillo</i>	32
<i>Ilustración 2.27: Eurobot 2000. Parque de atracciones</i>	33
<i>Ilustración 2.28: Eurobot 2001. Odisea en el espacio</i>	33
<i>Ilustración 2.29: Eurobot 2002. Billar aéreo</i>	34
<i>Ilustración 2.30: Eurobot 2003. Cara o Cruz</i>	34
<i>Ilustración 2.31: Eurobot 2004. Rugby de cocos</i>	35
<i>Ilustración 2.32: Eurobot 2005. Juego de bolos</i>	35
<i>Ilustración 2.33: Eurobot 2006. Funny Golf</i>	36
<i>Ilustración 2.34: Eurobot 2007. Rally de reciclado</i>	36
<i>Ilustración 2.35: Eurobot 2008. Misión a Marte</i>	37
<i>Ilustración 3.1: Distribución de zonas y elementos</i>	39
<i>Ilustración 3.2: Configuración inicial</i>	40
<i>Ilustración 3.3: Configuración desplegada</i>	40
<i>Ilustración 3.4: Ejemplo puntuación</i>	41
<i>Ilustración 3.5: Posibles configuraciones de las piezas cilíndricas</i>	42
<i>Ilustración 3.6: Posibles posiciones de los dispensadores móviles</i>	43
<i>Ilustración 3.7: Dimensiones de las piezas cilíndricas</i>	43
<i>Ilustración 3.8: Distribución de los dispensadores de dinteles</i>	44
<i>Ilustración 3.9: Dimensiones de los dinteles</i>	44
<i>Ilustración 3.10: Área de juego</i>	45
<i>Ilustración 3.11: Dispensador de piezas cilíndricas</i>	46
<i>Ilustración 3.12: Dispensador de dinteles</i>	46
<i>Ilustración 3.13: Distribución de balizas</i>	46
<i>Ilustración 3.14: Soporte para baliza</i>	47
<i>Ilustración 3.15: Balizas</i>	47
<i>Ilustración 3.16: Zonas de construcción</i>	48
<i>Ilustración 3.17: Estrategia seguida</i>	49

<i>Ilustración 3.18: Sistema de recogida</i>	50
<i>Ilustración 3.20: Sistema sensorial</i>	51
<i>Ilustración 3.21: Sistema locomotor</i>	51
<i>Ilustración 3.22: Electrónica del sistema de control</i>	52
<i>Ilustración 3.23: Batería</i>	52
<i>Ilustración 3.24: Etapas de potencia</i>	52
<i>Ilustración 4.1.1: Estructura base</i>	54
<i>Ilustración 4.1.2: Pieza aluminio macizo</i>	55
<i>Ilustración 4.1.3: Cinta transportadora</i>	55
<i>Ilustración 4.1.4: Eje superior de la cinta transportadora</i>	55
<i>Ilustración 4.1.5: Motor de CC de la cinta</i>	55
<i>Ilustración 4.1.6: Características IRF530</i>	56
<i>Ilustración 4.1.7: Esquema y fotografía interruptor</i>	56
<i>Ilustración 4.1.8: Gráfica IRF530</i>	56
<i>Ilustración 4.1.9: Servomotor Futaba</i>	57
<i>Ilustración 4.1.10: Elementos de recogida</i>	57
<i>Ilustración 4.1.11: Elementos de manipulación</i>	58
<i>Ilustración 4.1.12: Elementos de construcción</i>	59
<i>Ilustración 4.1.13: Bandeja de dintel</i>	59
<i>Ilustración 4.2.1: Características de los motores</i>	60
<i>Ilustración 4.2.2: Motores</i>	61
<i>Ilustración 4.2.3: Patillaje LMD18200T</i>	61
<i>Ilustración 4.2.4: Ruedas</i>	62
<i>Ilustración 4.2.5: Encoder</i>	62
<i>Ilustración 4.2.6: Esquema modo bidireccional</i>	63
<i>Ilustración 4.2.7: Sistema de odometría</i>	63
<i>Ilustración 4.2.8: Fotografía y esquema de la placa de motores</i>	64
<i>Ilustración 5.1.1: Posición sensores</i>	65
<i>Ilustración 5.1.2: Bumper</i>	66
<i>Ilustración 5.1.3: Bumper plataforma</i>	66
<i>Ilustración 5.1.4: Sensor infrarrojo</i>	67
<i>Ilustración 5.1.5: Características GP2D120</i>	67
<i>Ilustración 5.1.6: Características GP2D12</i>	67
<i>Ilustración 5.1.7: Collage posición sensores infrarrojos</i>	69
<i>Ilustración 5.1.8: Esquema comparador</i>	69
<i>Ilustración 5.1.9: Gráficas sensores infrarrojos</i>	70
<i>Ilustración 5.1.10: Placas acondicionamiento señal</i>	71
<i>Ilustración 5.2.1: Placa base</i>	73
<i>Ilustración 5.2.2: Patillaje 8052</i>	74
<i>Ilustración 5.2.3: Esquema conversor RS232 TTL</i>	75
<i>Ilustración 5.2.4: Acondicionamiento MAX32</i>	75
<i>Ilustración 5.2.5: Conexiónado Null-Modem</i>	76
<i>Ilustración 5.2.6: Placa microprocesador 8052</i>	76
<i>Ilustración 6.1.1: Batería y características</i>	78
<i>Ilustración 6.1.2: Patillaje LM2599</i>	78
<i>Ilustración 6.1.3: Esquema convertidor Buck</i>	79
<i>Ilustración 6.1.4: Diseño convertidor 5 V</i>	79
<i>Ilustración 6.1.5: Diseño convertidor 7,2 V</i>	80
<i>Ilustración 6.1.6: Placa de 5 V</i>	80
<i>Ilustración 6.1.7: Placa de 7,2 V 80</i>	80
<i>Ilustración 6.2.1: Esquema conexionado placas potencia</i>	82
<i>Ilustración 6.2.2: Esquema conexionado placa intermedia</i>	83
<i>Ilustración 6.2.3: Conector alimentación de la placa intermedia</i>	83
<i>Ilustración 6.2.4: Conector control de la placa intermedia</i>	83
<i>Ilustración 6.2.5: Conector a micro de la placa intermedia</i>	84

<i>Ilustración 6.2.6: Esquema conexionado placa base</i>	84
<i>Ilustración 6.2.7: Conector PC-104</i>	85
<i>Ilustración 6.2.8: Esquema conexionado placa 8052</i>	86
<i>Ilustración 6.2.9: conector IDC placa micro</i>	86
<i>Ilustración 6.2.10: Esquema conexionado placas acondicionamiento</i>	87
<i>Ilustración 6.2.11: Esquema conexionado placa control motores</i>	87
<i>Ilustración 6.2.12: Conector de alimentación de la placa de motores</i>	88
<i>Ilustración 6.2.13: Conector de control de la placa de motores</i>	88
<i>Ilustración 6.2.14: Conector motor/encoder-drivers</i>	88
<i>Ilustración 6.2.15: Esquema general de conexionado</i>	89
<i>Ilustración 8.1: Costes de la estructura</i>	92
<i>Ilustración 8.2: Costes de construcción</i>	92
<i>Ilustración 8.3: Costes del sistema electrónico y de control</i>	93
<i>Ilustración 8.4: Costes del sistema locomotor</i>	94
<i>Ilustración 8.5: Costes del campo de pruebas</i>	94
<i>Ilustración 8.6: Costes de personal</i>	95
<i>Ilustración 8.7: Coste total</i>	95

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se inició cuando un grupo de estudiantes de la Universidad Carlos III de Madrid decidieron participar en la competición Eurobot 2009 representando al LSI (Laboratorio de Sistemas Inteligentes) en esta nueva edición.

La prueba Eurobot forma parte de un concurso anual de robótica a nivel internacional con fines educativos. Con ella se ponen a prueba las habilidades de los participantes mediante el diseño de un microrobot autónomo capaz de realizar una serie de acciones. Además se proponen ciertos requisitos tanto en el diseño como en aspectos participativos para hacer la competición más didáctica.

Tras la consolidación del grupo, se estudiaron las diferentes formas de abordar la prueba que éste año se proponía, se decidieron la estrategia que debería seguir el robot y el mejor método de manipulación de piezas, así como, en líneas generales, la forma del robot y su distribución interna. Siempre teniendo en cuenta el reglamento, los plazos, los recursos disponibles y los conocimientos de los integrantes del equipo.

Una vez listo el robot, se participó en una prueba clasificatoria de carácter nacional en la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid), tras clasificarse, durante el periodo anterior a la prueba europea, se realizaron los ajustes necesarios para solucionar los problemas advertidos al enfrentar al robot a otros competidores. Después de lo cual, se participó en la final internacional realizada en La Ferté-Bernard (Francia).

En este documento, se muestra la parte de diseño e implementación del hardware necesario derivado de las características y requisitos presentados por el resto de elementos, pero incluyendo estos últimos para poder entender las decisiones tomadas y la globalidad del proyecto completo.

1.1 Estructura de la memoria:

Capítulo 1. Introducción:

En esta introducción se hace una breve descripción de cada capítulo, se comentan los objetivos buscados y, además, ya que este proyecto se encuentra en el ámbito de la robótica, se realiza una introducción a dicha disciplina.

Capítulo 2. Estado del arte:

En este capítulo se habla sobre la robótica. Se habla de su historia, se hace una descripción de las maneras de clasificar los diferentes robots y se comenta la situación de la robótica en la actualidad. Además se habla sobre Eurobot; de sus generalidades y de las diferentes pruebas que lo han constituido a lo largo de los años.

Capítulo 3. El problema y la solución:

En este capítulo se describe la prueba del Eurobot de este año (Templos de Atlantis, 2009) y se hace una breve descripción general del microrobot.

Capítulo 4. Sistema mecánico-físico:

Se habla sobre la estructura que constituye la base del robot. Se estudian los sistemas de recogida, construcción y manejo de las piezas y se describe el hardware específico necesario para ellos. Se continúa con el sistema locomotor y de posicionamiento, donde se describen los motores, ruedas y encoders utilizados, su funcionamiento y la electrónica de control de motores.

Capítulo 5. Adquisición de datos y electrónica de control:

Enumeración de la cantidad y tipo de sensores, así como, su colocación y descripción de la electrónica de acondicionamiento de señal necesaria. Se comentan la placa base utilizada, sus características, el microprocesador, la placa utilizada para el uso de éste y sus características.

Capítulo 6. Alimentación y conexión:

Se muestran los elementos de alimentación, entre los que se incluyen las etapas de potencia necesarias. Se hace un resumen de la electrónica utilizada y se explica como se han conectado las diferentes placas entre ellas.

Capítulo 7. Conclusiones y mejoras:

Habla sobre las reflexiones realizadas después de participar en la competición, motivadas tanto por las dificultades y aciertos de nuestro robot cómo por los métodos utilizados por otros equipos en los suyos.

Capítulo 8. Presupuesto:

En él se detallan los costes y cantidad de materiales y mano de obra utilizados y otros costes derivados de la realización del proyecto.

Capítulo 9. Bibliografía:

Enumeración de material de apoyo y consulta utilizados en este proyecto.

Capítulo 10. Anexos:

Documentación de interés, como pueden ser los layout de las placas o la normativa de la prueba.

1.2 Objetivos:

El objetivo del proyecto global se centra en el diseño de un robot en el tiempo limitado y con las restricciones dadas para la participación de éste en la prueba Eurobot 09. Además, se busca el aprendizaje de los integrantes del grupo participante, poniendo a prueba las capacidades adquiridas, como la resolución de problemas y adquisición de otros recursos necesarios para la consecución del objetivo que es la construcción y puesta en marcha del microrobot. También se fomentan el trabajo en equipo y la formación y colaboración interdisciplinar.

Como objetivo de este proyecto en concreto, se estipula la resolución de las necesidades de hardware derivadas del diseño del robot, de la manera más eficiente posible, además de la puesta en práctica de los conocimientos de electrónica adquiridos durante la carrera universitaria y el aprendizaje práctico de la interrelación de la electrónica con otras disciplinas como pueden ser la mecánica, la informática, etc....

1.3 Introducción a la robótica:

La palabra robótica, con el sentido de disciplina científica encargada de construir y programar robots, fue acuñada (aunque de forma accidental) por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov. El término robot viene de la palabra "*robota*", que significa trabajo en checo, fue utilizada por primera vez por el dramaturgo Karen Capek para denominar a los trabajadores artificiales de su novela "R.U.R. (Rossum's Universal Robots)". [4]

Ambos términos tienen muchas y muy diversas definiciones, no siendo posible seleccionar una de ellas como la correcta. Por este motivo se dan a continuación una serie de ellas que pretenden ser ejemplo de la variedad de las mismas y a su vez realizar un intento de explicación de en que consisten dichos términos.

Robótica:

- "La Robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción" (*Michael Brady and Richard Paul, editors. Robotics Research: The First International Symposium. The MIT Press, Cambridge MA, 1984*)

- "La Robótica consiste en el diseño de sistemas. Actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad--todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot" (*Joseph L. Jones and Anita M. Flynn. Mobile robots: Inspirations to implementation. A K Peters Ltd, 1993*)
- "La Robótica describe todas las tecnologías asociadas con los robots".

Robot:

- "Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas" (*Real Academia Española*).
- "Aparato mecánico que se parece y hace el trabajo de un ser humano" (*Oxford English Dictionary*).
- "Manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de un o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente uno de percepción del entorno. Su uso es para realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material" (*Asociación Francesa de Normalización, AFNOR*)

Todas estas definiciones quedan rápidamente obsoletas por la permanente evolución de los robots, siendo preciso readaptarlas y ampliarlas con gran frecuencia.

Como dijo Joseph Engelberg (padre de la robótica industrial) sobre los robots: "Puede que no sea capaz de definirlo, pero sé cuándo veo uno" [4]

CAPÍTULO 2:

ESTADO DEL ARTE

2.1 Historia de la robótica:

La necesidad creciente de la población de facilitar las tareas diarias o hacer posible la realización de algunas demasiado arduas, generó el nacimiento de lo que hoy en día se conoce como robótica.

En un principio, las tareas que se suplían con la utilización de "artefactos" eran tareas repetitivas como dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse. Estos artefactos son los llamados autómatas, palabra que viene del término "automatos" que significa "que se mueven por sí mismos". [5]

Sin embargo, no todos los autómatas tenían como fin ayudar a las personas en estas tareas, sino que muchos de ellos servían como mero entretenimiento, realizando movimientos repetitivos o emitiendo sonidos.

Los primeros autómatas se registran en la antigua Etiopía. En el año 1500 a. C., Amenhotep, hermano de Hapu, construye una estatua de Memon, el rey de Etiopía, que emite sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer.

King-su Tse, en China, en el 500 a. C. inventa una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba. Entre el 400 y 397 a. C., Arkitas de Tarento, que es el inventor del tornillo y la polea, construye un pichón de madera suspendido de un pivote, el cual rotaba con un surtidor de agua o vapor, simulando el vuelo. En el año 206 a. C., fue encontrado el tesoro de Chin Shih Hueng Ti consistente en una orquesta mecánica de muñecos, encontrada por el primer emperador Han. [11]

En el año 62 Heron de Alejandría describe múltiples aparatos en su libro "Autómata". Entre ellos aves que vuelan, gorjean y beben. Además, describe algunos como un molino de viento para accionar un órgano o un precursor de la turbina de vapor.

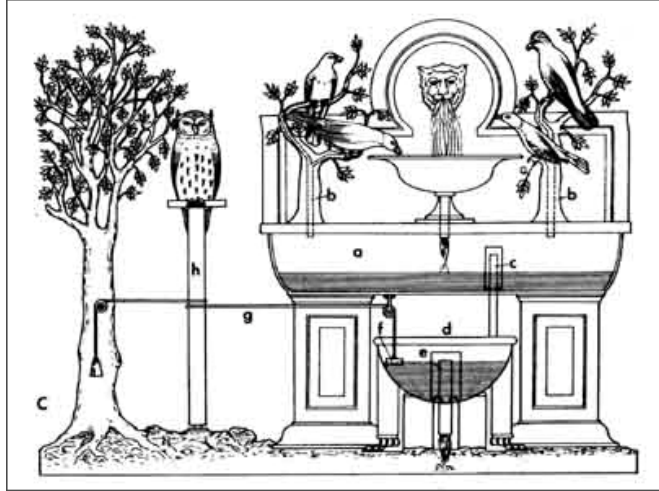
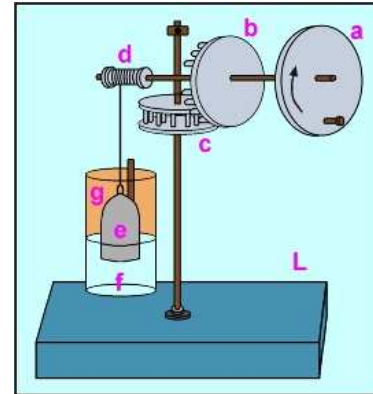


Ilustración 2.1: Pájaros de Heron.



**Ilustración 2.2:
Caja mágica de Heron.**

También se diseñaban mecanismos como la máquina de fuego que abría puertas de los templos o altares mágicos donde las figuras apagaban o avivaban el fuego de la llama.

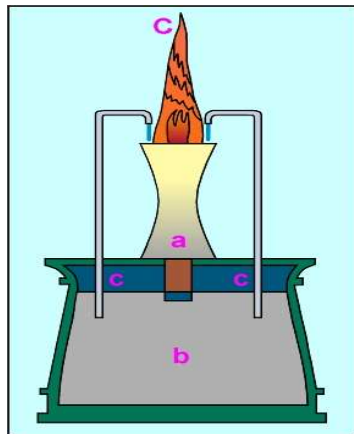


Ilustración 2.3: Altar mágico

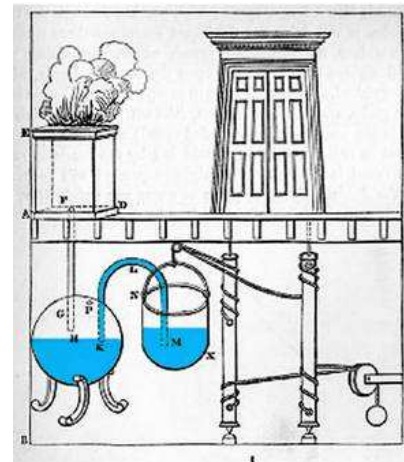


Ilustración 2.4: Puertas de Heron

En Roma existía la costumbre de hacer funcionar juguetes automáticos para deleitar a los huéspedes.

La cultura árabe, heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no sólo para realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dieron una aplicación práctica, introduciéndolos en la vida cotidiana de la realeza. Ejemplos de estos son diversos sistemas dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse.

Algunas referencias poco documentadas del pasado hablan de autómatas como el Hombre de Hierro (Alberto Magno 1204-1282) o la Cabeza Parlante (Roger Bacon 1214-1294). En 1235, Villard d'Honnecourt escribe un libro con bocetos que incluyen secciones de dispositivos mecánicos, como un ángel autómatas, e indicaciones para la construcción de figuras humanas y animales.

Pero el autómatas más antiguo que se conserva en la actualidad data de 1352, el Gallo de Estrasburgo, formaba parte del reloj de la torre de la catedral y funcionó entre 1352 y 1789. Éste movía las alas y el pico al dar las horas.

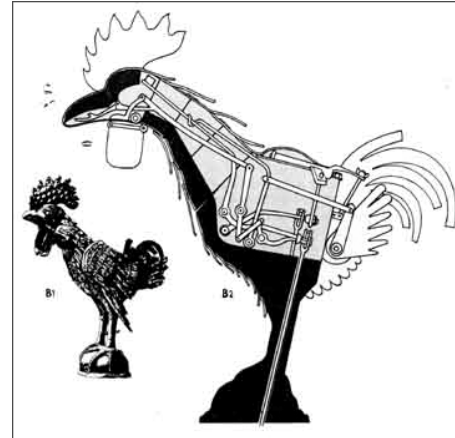


Ilustración 2.5: Gallo de Estrasburgo

En 1515, Leonardo Da Vinci construyó un león mecánico para el rey Francisco I de Francia. Éste podía moverse por sí solo y disponían de un mecanismo que permitía dejar caer flores de lis. Se dice que este autómatas fue encargado por la comunidad de Florencia en Lyon para celebrar una nueva alianza entre la ciudad italiana y Francia aunque también se dice que fue por el papa León X (un Médici al igual que el gobernador de Florencia) para agasajar al recién coronado rey de Francia. [6] [7] [8]

En España es conocido el hombre de palo construido por Juanelo Turriano en el siglo XVI para el emperador Carlos V. Este autómatas con forma de moje, andaba y movía la cabeza, ojos, boca y brazos.

Durante los siglos XVII y XVIII se crearon ingenios mecánicos que tenían alguna de las características de los robots actuales. Estos dispositivos fueron creados en su mayoría por artesanos del gremio de la relojería. Su misión principal era la de entretener a las gentes de la corte y servir de atracción a las ferias. Así, en 1649, cuando Luis XIV era niño, un artesano llamado Camus (1576-1626) construyó para él un coche en miniatura con sus caballos, sus lacayos y una dama dentro y todas las figuras se podían mover perfectamente. Salomón de Camus también construyó fuentes ornamentales y jardines placenteros, pájaros cantarines e imitaciones de los efectos de la naturaleza.

Según P. Labat, el general de Gennes construyó en 1688 un pavo real que caminaba y comía. Este ingenio pudo servir de inspiración a Jacques de Vaucanson (1709-1782) para construir su increíble pato mecánico que fue la admiración de toda Europa. Según Sir David Brewster en un escrito de 1868, lo describe diciendo que es "la pieza mecánica más maravillosa que se haya hecho".

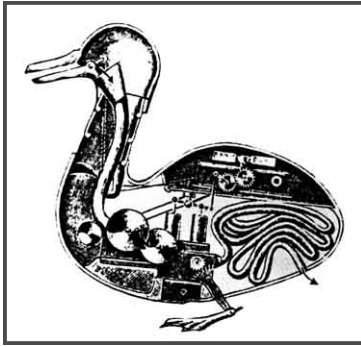


Ilustración 2.6: Pato de Vaucanson

El pato alargaba su cuello para tomar el grano de la mano y luego lo tragaba y lo digería. Podía beber, chapotear y graznar, y también imitaba los gestos que hace un pato cuando traga con precipitación. Los alimentos los digería por disolución y se conducía por unos tubos hacia el ano, donde había un esfínter que permitía evacuarlos.

Vaucanson también construyó varios muñecos animados, entre los que destaca un flautista capaz de tocar melodías. El ingenio consistía en un complejo mecanismo de aire que causaba el movimiento de dedos y labios, como el funcionamiento normal de una flauta. Por instigación de Luís XV, intento construir un modelo con corazón, venas y arterias, pero murió antes de poder terminar esta tarea. Además de muchos objetos útiles para la industria como una silla para los tejedores. [11]

En 1769, Wolfgang Von Kempelen (científico eslovaco) creó "El turco" un supuesto autómatata que jugaba al ajedrez. Éste dio su primera exhibición ante la emperatriz M^a Teresa de Austria, sin que nadie entendiese como funcionaba. La máquina era una gran caja, que si se abría sólo dejaba a la vista multitud de cables y mecanismos.

El muñeco que aparecía sentado ante el tablero lucía un turbante y coloridos ropajes de seda, además tenía un brazo extensible que movía las piezas. Su funcionamiento consistía en que dentro de la máquina había un jugador que movía las fichas.

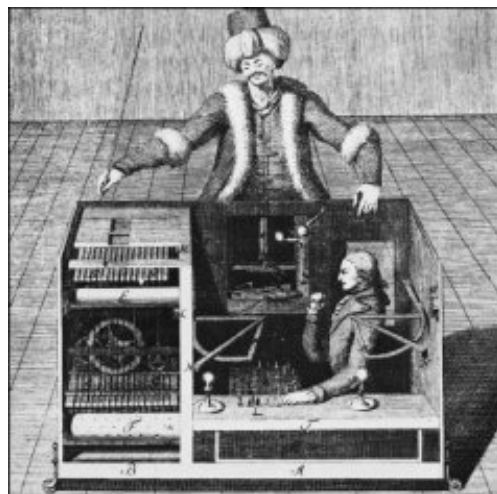
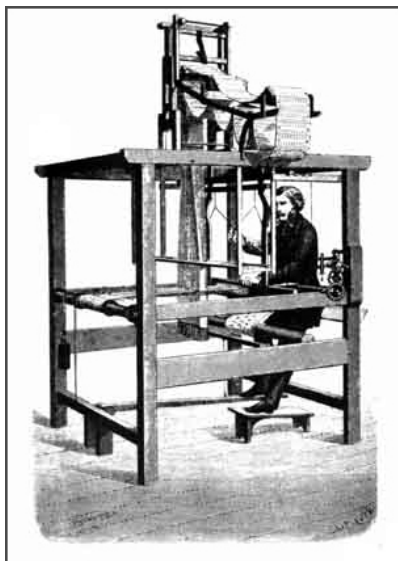


Ilustración 2.7: El turco de Von Kempelen.

Por la misma época, el relojero suizo Pierre Jaquet Droz (1721-1790) y sus hijos Henri-Louis y Jaquet construyeron diversos muñecos capaces de escribir (1770), dibujar (1772) y tocar diversas melodías en un órgano (1773). Estos se conservan en el museo de arte e Historia de Neuchâtel, Suiza.

Los Maillardet (Henri, Jean-David, Julien-Auguste, Jacques-Rodolphe) entre finales del siglo XVIII y principios del XIX, construyen un escritor-dibujante, con la forma de un chico arrodillado con un lápiz en su mano, escribe en inglés y en francés y dibuja paisajes. Construyen un mecanismo "mágico" que responde preguntas y un pájaro que canta en una caja.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se desarrollaron algunas ingeniosas invenciones mecánicas, utilizadas fundamentalmente en la industria textil, entre las que destacan la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el telar de Jacquard (1801).



Jacquard basándose en los trabajos de Bouchon (1725), Falcon (1728) y del propio Vaucanson (1745), fue el primero en aplicar las tarjetas perforadas como soporte de un programa de trabajo, es decir, eligiendo un conjunto de tarjetas, se definía el tipo de tejido que se desea realizar. Estas máquinas constituyeron los primeros precedentes históricos de las máquinas de control numérico.

Ilustración 2.8: Telar de Jacquard.

Algo más tarde que en la industria textil, se incorporan los automatismos en las industrias mineras y metalúrgicas. El primer automatismo que supuso un gran impacto social, lo realiza Potter a principios del siglo XVIII, automatizando el funcionamiento de una máquina de vapor del tipo Newcomen.

En 1921, fue utilizada por primera vez la palabra robot, cuando el escritor Karen Capek (1890-1930) estrena en el teatro nacional de Praga su obra "Rossum's Universal Robots (R.U.R.)". Pero no fue el quien inventó este término, Karel lo atribuye a su hermano Josef Capek, el cual se lo sugirió cuando le pidió ayuda para denominar a los trabajadores artificiales de su novela. [9]

El término robótica fue acuñado por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov en una de sus novelas sobre robots. Otra aportación del escritor a esta disciplina son las Tres Leyes de la Robótica; muy bien encaminadas teniendo en cuenta que las creo mucho antes de que los robots fueran una realidad. Asimov explicaba que las Tres Leyes fueron creadas por John W. Campbell, en una conversación que mantuvieron ambos. Sin embargo, Campbell sostiene que Asimov ya las tenía pensadas, y que simplemente las expresaron entre los dos de una manera más formal. [10]

Primera Ley: Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.

Segunda Ley: Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la Primera Ley.

Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Más tarde, en 1985, en su novela "Robots e Imperio", Asimov incorpora su cuarta ley, conocida como ley cero:

Ley Cero: Un robot no puede lastimar a la humanidad o, por la falta de acción, permitir que la humanidad sufra daños.

Aunque estos términos se crearon a principios del siglo XX, no fue hasta la década de los 50 cuando se desarrollaron los primeros robots, desarrollo en el cual intervienen diversos factores. La investigación en inteligencia artificial desarrolló maneras de emular el procesamiento de información humana con computadoras electrónicas e inventó una variedad de mecanismos para probar sus teorías.

Las primeras patentes aparecieron en 1946 con los muy primitivos robots para traslado de maquinaria de Devol. También en ese año aparecen las primeras computadoras: J. Presper Eckert y John Maulchy construyeron el ENAC en la Universidad de Pensilvania y la primera máquina digital de propósito general se desarrolla en el MIT.

En 1954, Devol diseña el primer robot programable y acuña el término "autómata universal", que posteriormente recorta a Unimation. Así llamaría Engleberger a la primera compañía de robótica. La comercialización de robots comenzaría en 1959, con el primer modelo de la Planet Corporation que estaba controlado por interruptores de fin de carrera.

En 1964 se abren laboratorios de investigación en inteligencia artificial en el MIT, el SRI (Stanford Research Institute) y en la universidad de Edimburgo. Poco después, los japoneses que anteriormente importaban su tecnología robótica, se sitúan como pioneros del mercado. [12]

En 1960 se introdujo el primer robot "Unimate", basado en la transferencia de artículos. Utilizan los principios de control numérico para el control de manipulador y era un robot de transmisión hidráulica.

En 1961 un robot Unimate se instaló en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel. Y en 1966, Trallfa, una firma noruega construyó e instaló un robot de pintura por pulverización. En 1971 el "Standford Arm", un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolló en la Standford University.

En 1973 se desarrolló en SRI el primer lenguaje de programación de robots del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE. Fue seguido por el lenguaje AL en 1974. Los dos lenguajes se desarrollaron posteriormente en el lenguaje VAL comercial para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.

En 1978 Se introdujo el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly) para tareas de montaje por Unimation, basándose en diseños obtenidos en un estudio de la General Motors.

En 1980 Un sistema robótico de captación de recipientes fue objeto de demostración en la Universidad de Rhode Island. Con el empleo de visión de máquina el sistema era capaz de captar piezas en orientaciones aleatorias y posiciones fuera de un recipiente.

El primer robot móvil de la historia, pese a sus muy limitadas capacidades, fue ELSIE (Electro-Light-Sensitive Internal-External), construido en Inglaterra en 1953. ELSIE se limitaba a seguir una fuente de luz utilizando un sistema mecánico realimentado sin incorporar inteligencia adicional.

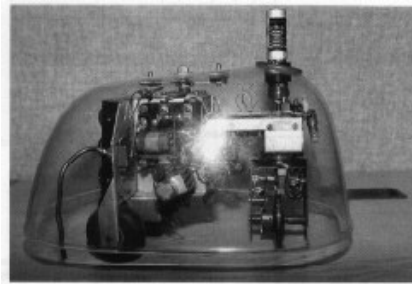


Ilustración 2.9: ELSIE

En 1968, apareció SHACKY del SRI (Stanford Research Institute), que estaba provisto de una diversidad de sensores así como una cámara de visión y sensores táctiles y podía desplazarse por el suelo. El proceso se llevaba en dos computadores conectados por radio, uno a bordo encargado de controlar los motores y otro remoto para el procesamiento de imágenes. [12]

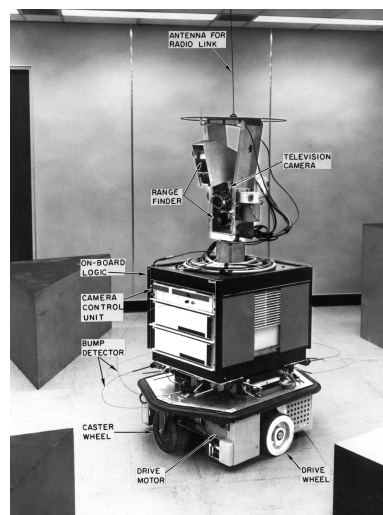


Ilustración 2.10: SACKY

En los setenta, la NASA inició un programa de cooperación con el Jet Propulsion Laboratory para desarrollar plataformas capaces de explorar terrenos hostiles. El primer fruto de esta alianza sería el MARS-ROVER, que estaba equipado con un brazo mecánico tipo STANFORD, un dispositivo telemétrico láser, cámaras estéreo y sensores de proximidad.



Ilustración 2.11: MARS-ROVER

En los ochenta aparece el CART del SRI que trabaja con procesamiento de imagen estéreo, más una cámara adicional acoplada en su parte superior. También en la década de los ochenta, el CMU-ROVER de la Universidad Carnegie Mellon incorporaba por primera vez una rueda timón, lo que permite cualquier posición y orientación del plano.

Desde entonces, la robótica, ha evolucionado enormemente. La utilización de robots en la industria, hoy en día, no es solo una ventaja o gran mejora, se ha convertido en una necesidad. Se están desarrollando robots humanoides que pueden realizar tareas como hablar, reconocer caras, expresar sentimientos, andar e incluso, correr. Además, las grandes capacidades, tareas y aplicaciones de los robots en la actualidad parecen no tener fin.

Estos aspectos han hecho que el número y variantes de robots alcance magnitudes que obligan a su clasificación.

2.2 Clasificación de los robots:

Desde el punto de vista histórico, los robots pueden dividirse en generaciones que presentan las siguientes características:

- Primera Generación: El robot repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones en su entorno.
- Segunda Generación: Adquiere información limitada del entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar, detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos a ellos.
- Tercera Generación: Su programación se realiza mediante el empleo del lenguaje natural. Posee capacidad para la planificación automática de tareas.

La Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) los clasifica de la siguiente manera:

Clasificación de los robots según la AFRI	
Tipo A	Manipulador con control manual o telemando.
Tipo B	Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos.

Según T. M. Knasel en la Revista Robotics N 2. de 1986:

Generación	Nombre	Tipo de control	Movilidad	Usos
1 (1982)	<i>Pick & place</i>	Fines de carrera, aprendizaje	Ninguno	Manipulación, servicio de máquinas
2 (1984)	Servo	Servocontrol, trayectoria continua, prog condicional	Desplazamiento por vía	Soldadura, pintura
3 (1989)	Ensamblado	Servos de precisión, visión, tacto,	Guiado por vía	Ensamblado, desbaldado
4 (2000)	Móvil	Sensores inteligentes	Patas, ruedas	Construcción, mantenimiento
5 (2010)	Especiales	Controlados con técnicas de IA	Andante, saltarín	Militar, espacial

- Por su funcionamiento se puede distinguir entre: **Automáticos** o **Teleoperados**.

Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Tele-operación: Dispositivos robóticas con brazos manipuladores, sensores y cierto grado de movilidad controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador.
 - Tele-presencia: Existe una realimentación mecánica o por medio de un ordenador que permite al operador percibir las fuerzas (escaladas) realizadas por el esclavo.
 - Autonomía: Los robots son capaces de tomar decisiones inteligentes en función de su estado, la información que percibe del entorno y la misión que tiene asignada. [4]
- Según su estructura: **Manipuladores, Móviles y Manipuladores Móviles**.
- Por su nivel de inteligencia se puede diferenciar entre:
 - **Dispositivos de manejo manual**: controlados por una persona.
 - **Robots de secuencia arreglada**.
 - **Robots de secuencia variable**: un operador puede modificar la secuencia fácilmente.
 - **Robots regeneradores**: el operador humano conduce el robot a través de la tarea.
 - **Robots de control numérico**: el operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
 - **Robots inteligentes**, los cuales pueden entender e interactuar con cambios en el entorno. [13]
- Según su arquitectura:
 - **Androides**: son robots humanoides. Imitan el comportamiento del hombre. Su utilidad en la actualidad es de solo experimentación, pero se busca que en un futuro sean capaces de interactuar con las personas y de ayudarlas, haciéndonos la vida más fácil y agradable. Algunos prototipos son tan cercanos como "Magui" o "Rh-1", desarrollados por el Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid. O el conocido ASIMO de Honda.

*Ilustración 2.12: MAGUI**Ilustración 2.13: Rh-1**Ilustración 2.14: ASIMO*

- **Móviles:** se desplazan mediante una plataforma rodante clásica, que puede estar dotada de ruedas o de un sistema de orugas.

- **Zoomórficos:** emplean un sistema de locomoción diseñado imitando al de algunos animales. Suelen utilizarse en misiones de exploración o como juguetes.

*Ilustración 2.15:
Robots zoomórficos*

- **Poliarticulados:** mueven sus extremidades con pocos grados de libertad. Se utiliza principalmente en la industria.

*Ilustración 2.16: Robots poliarticulados*

Desde el punto de vista de su aplicación nos encontramos con 2 grandes grupos: **Industriales** y **de Servicio**:

Robots Industriales:

Son aquellos destinados a la realización de tareas industriales. Tanto tareas repetitivas que supondrían una disminución con el paso del tiempo del rendimiento de una persona, como tareas difíciles y costosas o prácticamente imposibles de realizar por la mano del hombre. Como gran ejemplo del uso de estos robots se encuentra la industria automovilística.

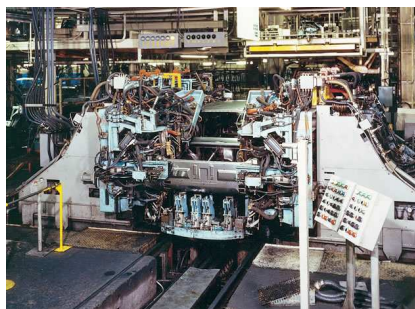


Ilustración 2.17: Robots de aplicación industriales

Robots de Servicio:

Son aquellos que sirven de ayuda en las tareas diarias. Por ejemplo los robots de limpieza o los robots de asistencia a discapacitados como ASIBOT desarrollado por esta universidad. Los robots de atención al cliente, entre otros usos se puede destacar el de guía en museos, en ellos es muy importante la interacción con el ser humano, como ejemplos de esta interacción se encuentran MAGUI, desarrollado también por la UC3M o ASIMO, desarrollado por Honda.

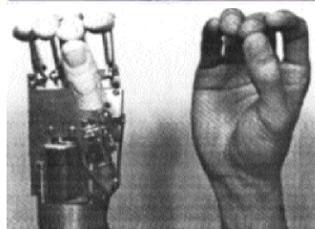
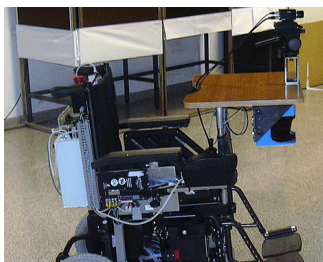


Ilustración 2.18: Collage de diferentes robots de servicio

2.3 Robótica actual:

La evolución de la robótica está tan patente que hoy en día el concepto de robot no es nada nuevo en la mente de las personas, aún más si cabe en las nuevas generaciones. El robot que habla, camina, baila y se le pueden programar secuencias de movimiento y grabar mensajes a repetir, o el robot que tiene la forma e imita las acciones de un perro, son artículos al alcance de muchas familias de clase media, impensables hace 50 años. Solo algunos eran capaces de soñar con ello, como ciertos escritores de ciencia ficción.

Pero, si se piensa en lo que se esperaba de la tecnología de hoy en día hace tan solo 30 años, los coches voladores, los viajes turísticos y colonias o ciudades en otros planetas, etc... tan solo la robótica ha alcanzado un desarrollo minimamente cercano a ello. Es decir, aunque todas estas visiones de futuro eran exageradas y demasiado optimistas, la robótica sí ha conseguido aproximarse a ellas, lo que supone, como se viene diciendo en este apartado, que su evolución es realmente grande.

En la actualidad, los robots son usados para realizar desde tareas peligrosas y difíciles hasta operaciones repetitivas y aburridas que harían descender el rendimiento de cualquier humano. El mayor campo de operaciones de la robótica actual es el sector industrial, ya que hoy en día cualquier fábrica que quiera ser competitiva ha de estar automatizada. La industria del automóvil es una de las que más robots emplea en sus cadenas de montaje, en ellas, estos ingenios se encargan de reemplazar a los humanos en tareas repetitivas tales como soldadura, manipulación y pintura, elevando el nivel de productividad de la planta y minimizando riesgos para los trabajadores.



Ilustración 2.19: Robots industriales

Un ejemplo del uso de robots en tareas peligrosas puede ser el trabajo realizado en los TEDAX (técnicos especialistas en desactivación de artefactos explosivos). Los modelos utilizados en este cuerpo de seguridad son robots teleoperados capaces de manipular objetos con gran precisión a una distancia segura.



Ilustración 2.20: Robot artificieros de los TEDAX

El uso de robots se ha extendido a otros campos con mucho éxito: limpieza de residuos tóxicos, exploración espacial y marina, minería, búsqueda y rescate de personas, localización de minas terrestres, desactivación de bombas, etc...

Hoy por hoy, existen o se están desarrollando vehículos autopilotados, humanoides capaces de realizar tareas de un gran nivel de inteligencia o con una apariencia sorprendentemente parecida a la del ser humano, pudiendo incluso simular emociones. Los robots asistenciales están teniendo un gran desarrollo. Los robots de cirugía son un gran avance para dicha disciplina, pudiendo no solo realizar operaciones más precisas, sino también permitir operar a expertos que han tenido que dejar de hacerlo.

En los últimos años se ha logrado un gran avance en los robots dedicados a la medicina, diseñando robots que son utilizados en procedimientos de cirugía invasiva mínima. La compañía Intuitive Surgical es la desarrolladora del robot quirúrgico *Da Vinci*, uno de los más avanzados en su campo. Este robot cuenta con cuatro brazos articulados, cada uno de ellos dotado de diferente instrumental y cámaras, que permiten al cirujano realizar intervenciones quirúrgicas de gran precisión minimizando los riesgos para el paciente. [14]



Ilustración 2.21: Robot Da Vinci

Por último habría que destacar el desarrollo de robots humanoides por parte de la compañía Honda desde 1986, que ha llegado a su punto álgido con el diseño de su modelo ASIMO, considerado el robot humanoide más avanzado del mundo.

Algunas tecnologías desarrolladas por Honda para el robot ASIMO están siendo utilizadas para la creación de nuevos ingenios que hagan la vida más fácil a los seres humanos. Un par de ejemplos son el exoesqueleto creado por Honda para ayudar a caminar a personas de movilidad reducida y el traje-robot diseñado por la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio ideado para ayudar a levantar peso a los granjeros, reduciendo el esfuerzo sobre las articulaciones y la espalda en un 50%



Ilustración 2.22: Robot ASIMO



Ilustración 2.23: Exoesqueleto de Honda

2.4 Microrobótica:

Uno de los principales campos de investigación que más está avanzando en los últimos años lo forman los microrobots. Estos ingenios están siendo desarrollados tanto por las universidades como por organismos gubernamentales y privados. Por poner un ejemplo, la NASA tiene un gran interés en el desarrollo de toda clase de microrobots, destinados en su caso a misiones espaciales de mantenimiento y exploración.

Hay que remarcar que un microrobot no se caracteriza por poseer un tamaño pequeño sino por estar diseñado para realizar tareas simples de forma repetitiva, rápida y precisa. Si se ponen a trabajar varios microrobots en el mismo entorno de trabajo, colaborarán entre ellos para completar una tarea global sumando sus tareas simples.

Los microrobots suelen caracterizarse por ser móviles y autónomos, además, normalmente están preparados para tomar decisiones a partir de la información aportada por el sistema sensorial del que disponen, adaptándose al entorno de trabajo para funcionar de forma eficaz.

El término microrobótica se comienza a aplicar en la década de los 90 a raíz de unos experimentos con pequeños robots de programación muy sencilla. El experimento en si consistía en encerrar estos pequeños robots en una habitación y distribuir trozos de vela esparcidos al azar por el suelo; los robots estaban programados para recoger las velas que encontrasen por su camino hasta el tope de su capacidad, una vez alcanzado ese tope las soltarían en un montón y volverían a iniciar su rutina de recogida. Al finalizar el experimento todas las velas estaban apiladas en el mismo montón, se había logrado que pequeños robots poco inteligentes programados para hacer una tarea repetitiva y sin conocimiento de la existencia de otros robots programados para la misma tarea y en el mismo entorno fuesen capaces de colaborar para realizar una tarea global. [15]

En los últimos años han surgido una serie de foros, certámenes y competiciones de microrobótica, que han logrado que se experimente un gran avance en esta rama gracias a la creación de un escenario común donde intercambiar técnicas y experiencias, a la vez que se motiva la investigación por medio de la competición. Las pruebas en estos eventos son muy variadas, ejemplos de ellas son las competiciones de siguelíneas, sumo, Robocup y Eurobot, que año tras año ven aumentado su número de participantes ante el gran interés que están generando.

2.5 Eurobot:

EUROBOT es un concurso internacional de aficionados a la robótica creado en 1998, el cual permite el encuentro de jóvenes estudiantes con el fin de atraer al público en general a esta disciplina y darla a conocer, promoviendo la participación y el interés por esta ciencia.

Fue en Francia donde surgió la idea y se celebró la primera edición de EUROBOT, compitieron 9 equipos de 5 países distintos. Cada año se ve aumentada la participación enormemente, así, en el 2008 participaron más de 400 equipos de 27 países diferentes. Se trata de una competición europea en su origen, pero tanto ha sido su éxito que desde hace algunos años participan equipos de todas las partes del mundo como México, Malasia, Iran o Túnez a parte de un gran número de países europeos.

En 2004, se instauraron las clasificaciones nacionales en los 21 países participantes, reuniendo a 205 equipos. Estas pretenden clasificar para la final europea a los tres mejores equipos de cada país, y usualmente se celebran dos o tres semanas antes que dicha final. En España esta clasificación previa se realiza en el certamen Hispabot, que tiene lugar en la Universidad de Alcalá de Henares. En dicho evento se realizan además otras competiciones de microrobots como son sumo, velocistas, laberinto y robocup junior.

La principal característica de este concurso es su carácter innovador pues cada año la organización propone una prueba diferente a las ya realizadas en ediciones anteriores. En esta ocasión se ha celebrado del 21 al 24 de Mayo en La Ferte-Bernard (Francia) la prueba EUROBOT 2009 denominada "Los Templos de la Atlantida", esta ha consistido en la competencia entre dos robots (verde o rojo) por la construcción de los mejores templos de la Atlantida. El sistema clasificatorio ha sido el siguiente:

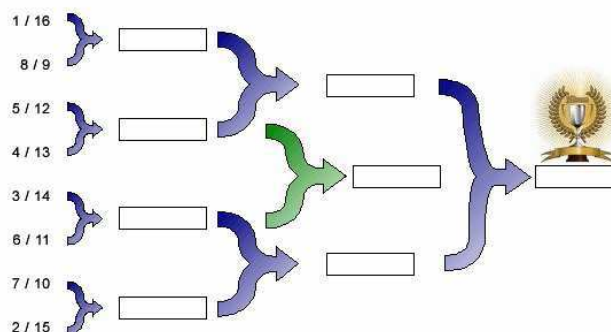


Ilustración 2.24: Sistema clasificatorio final europea Eurobot

2.5.1 Ediciones anteriores de Eurobot:

· 1998. Fútbol

La competición era similar a un partido de fútbol jugado con más de una pelota. Sobre un terreno de juego totalmente plano en el que estaban distribuidas ocho pelotas de tenis, dos robots enfrentados tenían que marcar al rival el máximo número de tantos posibles.

Se presentaron nueve equipos de cinco países diferentes.

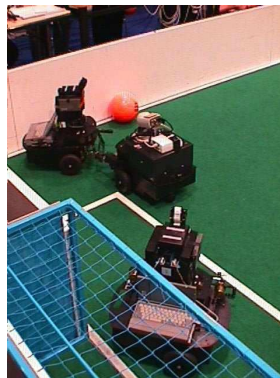


Ilustración 2.25: Eurobot 1998. Fútbol

· 1999. Ataque al castillo

El campo se dividió en dos partes separadas por un barranco y unidas mediante dos puentes. En cada lado del campo se alzaba un castillo construido a base de cilindros de madera apilados de modo que formasen torres. El objetivo del juego era derribar el castillo del contrario ya fuese por contacto directo o mediante el uso de pelotas de tenis que se encontraban repartidas por el terreno de juego.

Se presentaron ocho equipos de cinco países diferentes.



Ilustración 2.26: Eurobot 1999. Ataque al castillo

· 2000. Parque de atracciones

Para la edición de ese año se diseñó un terreno de juego de superficie montañosa. Sobre él se dispusieron diez globos, cinco azules y cinco amarillos, y se dividió el campo en dos partes. Cada equipo debía reventar los globos del equipo contrario, estando prohibido el uso de proyectiles. Además la limitación impuesta al tamaño máximo de los robots les impedía reventarlos de lejos.

Se presentaron doce equipos de siete países diferentes.



Ilustración 2.27: Eurobot 2000. Parque de atracciones

· 2001. Odisea en el espacio

En esta edición se dispuso un terreno de juego totalmente plano que representaba el espacio y sobre él se colocaron una serie de cilindros a modo de planetas. Los robots debían conquistar más planetas que el contrario depositando banderas de su color sobre los cilindros y de esta manera reclamándolos para su equipo.

Se presentaron diecinueve equipos de doce países diferentes.

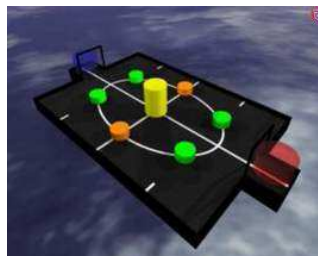


Ilustración 2.28: Eurobot 2001. Odisea en el espacio

· 2002. Billar aéreo

Se dispuso un terreno de juego rectangular totalmente plano dotado de unos agujeros a modo de troneras de billar en cada esquina. Sobre el tablero se colocaban al azar ocho bolas rojas y cuatro negras siguiendo una simetría central. Cada robot comenzaba el partido en un extremo del terreno de juego y tenía que introducir las bolas negras en las troneras de su lado y las rojas en las del lado opuesto.

Se presentaron veintisiete equipos de diecisiete países distintos.



Ilustración 2.29: Eurobot 2002. Billar aéreo

· 2003. Cara o cruz

Sobre un terreno de juego rectangular se colocaron una serie de discos de dos tipos diferentes: de doble color y de color único. Los discos de doble color tenían una cara verde y la otra roja, y los de color único, podían ser verdes o rojos. A cada equipo se le asignaba un color, y al final del partido ganaba el robot que hubiera puesto cara arriba el mayor número de discos de su color.

Se presentaron treinta y dos equipos de diecinueve países distintos.

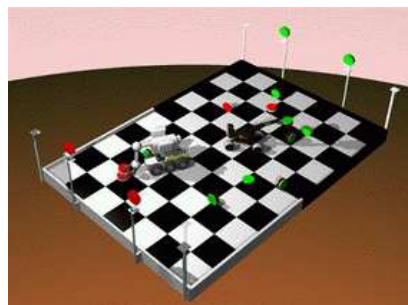


Ilustración 2.30: Eurobot 2003. Cara o Cruz

· 2004. Rugby de cocos

El terreno de juego diseñado para ese año era bastante peculiar, se trataba de un campo rectangular en el que se encontraban situadas una serie de palmeras cargadas de cocos, además se colocaron dos porterías elevadas y una zona de ensayo en la superficie del terreno. El objetivo de la prueba de ese año era recoger cocos que estaban distribuidos de manera aleatoria por el terreno de juego, tanto por el suelo como colgados de las palmeras, y marcar puntos lanzándolos a portería o colocándolos en la zona de ensayo del lado del rival.

Se presentaron cuarenta y un equipos de veintiún países distintos.

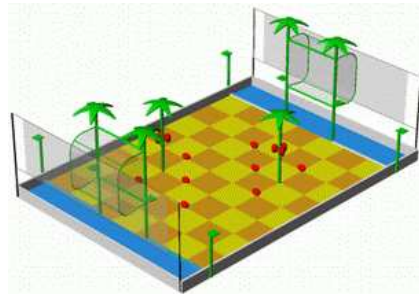


Ilustración 2.31: Eurobot 2004. Rugby de cocos

· 2005. Juego de bolos

Al igual que en la prueba de 1999 se dividió el terreno de juego en dos partes, separadas esta vez por un río, que se comunicaban entre sí por dos puentes de colocación aleatoria. En el centro del río existían dos carriles que permitían derribar los bolos del otro lado empujando una pelota. El objetivo de la prueba era derribar los bolos del contrario y proteger los propios.

Se presentaron cincuenta equipos de veintidós países diferentes.

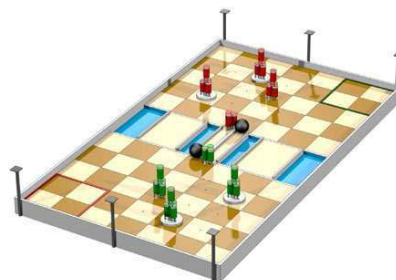


Ilustración 2.32: Eurobot 2005. Juego de bolos

• 2006. Funny Golf

Se diseñó un terreno de juego con una serie de hoyos rodeados por un anillo de color, rojo o azul, con capacidad para almacenar una pelota cada uno. Las pelotas se podían encontrar de dos formas, distribuidas al azar por la superficie del tablero o almacenadas en unos dispensadores situados en cada esquina del tablero que se activaban al manipular los tótems situados sobre el campo. Los robots puntuaban al introducir pelotas blancas en los hoyos de su color. Existían también pelotas negras que no tenían ningún valor.

Se presentaron cincuenta y cinco equipos de veintitrés países.

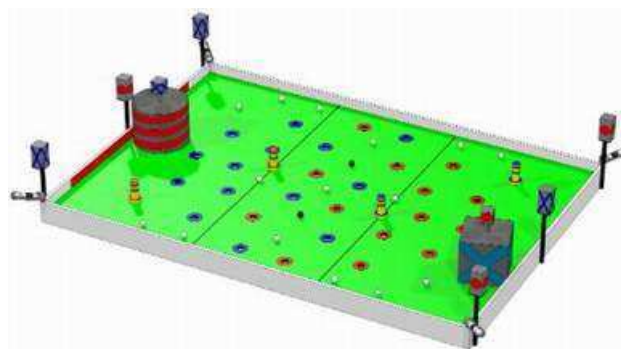


Ilustración 2.33: Eurobot 2006. Funny Golf

• 2007. Rally de reciclado

Sobre un terreno de juego lleno de botellas de plástico, latas de refresco y pilas, los robots debían competir por llevar la basura recogida a sus contenedores de reciclaje adecuados. El terreno de juego estaba equipado con cuatro porterías, dos por equipo, y una cesta común que tenía una colocación aleatoria. La cesta servía para el reciclaje de las pilas, y las porterías para el de latas y botellas.

Se presentaron cincuenta y siete equipos de veintisiete países.

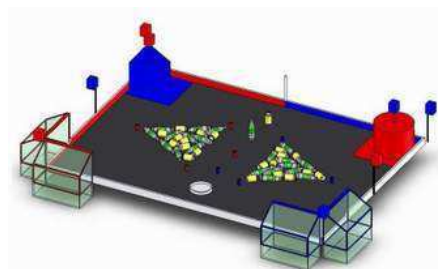


Ilustración 2.34: Eurobot 2007. Rally de reciclado

- **2008. Mision a Marte**

En 2008 se vuelve al espacio exterior, en este caso en concreto a Marte, para recoger muestras biológicas que llevar a la Tierra para ser analizadas. Estas muestras se podían colocar en unos recipientes refrigerados (los que están elevados) o en uno horizontal, en el que se podían introducir las muestras de hielo (bolas blancas). Hacer combinaciones de hielo y muestras aportaba puntuación extra.

La final de EUROBOT 2008 se celebró del 21 al 25 de Mayo en Heidelberg, Alemania.

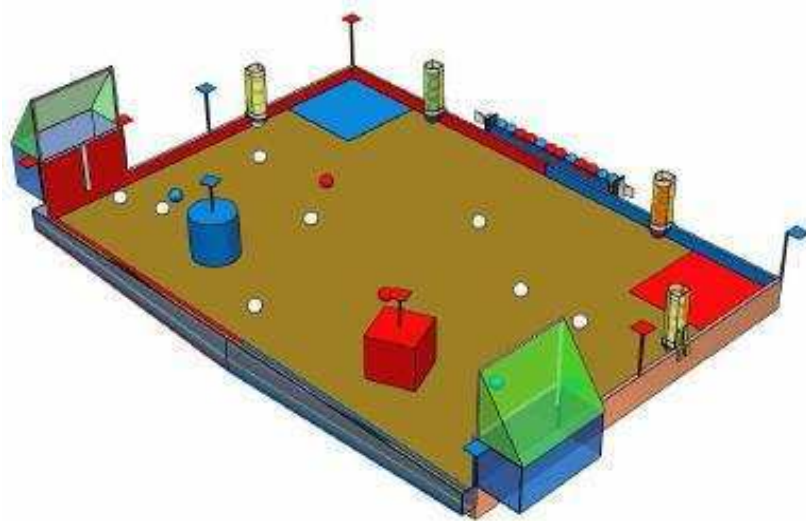


Ilustración 2.35: Eurobot 2008. Misión a Marte



CAPÍTULO 3:

EL PROBLEMA Y LA SOLUCIÓN

3.1 Problema: Prueba 2009

La prueba del EUROBOT 2009 recibe el nombre de "Temples of Atlantis" (Templos de Atlantis). Dicha prueba consiste en realizar un robot capaz de recoger piezas para montarlas de tal forma que se construyan templos en unas zonas de edificación determinadas. Estas piezas son de dos tipos, unas tienen forma cilíndrica y otras son prismáticas rectas.

3.1.1 ASPECTOS GENERALES

La competición se realiza sobre un campo de juego con forma rectangular de color azul. En dicho campo se distinguen varias zonas. Las posiciones de salida de cada microrobot pintadas de verde y rojo, situadas en las esquinas de la pared trasera del campo. Las zonas de construcción, identificadas al estar pintadas de color marrón, son tres, la Zona 1 y la Zona 2 que están en la pared frontal, y la Zona 3 que es una base cilíndrica situada en el centro del campo. Dichas zonas de construcción simulan los terrenos donde se debe edificar los diferentes templos que conforman Atlantis. Además, situados en distintos puntos de la periferia del campo se encuentran distribuidos una serie de dispensadores de ambos tipos de piezas de los cuales los robots pueden recoger las que estimen oportuno sin sobrepasar el límite que impone la normativa.

Por otro lado, existen una serie de marcas en el terreno que sirven de ayuda para localizar algunos puntos de interés como pueden ser las zonas de construcción 1 y 2, o los dispensadores de las piezas prismáticas. Todos estos aspectos se pueden apreciar en la Ilustración 3.1.

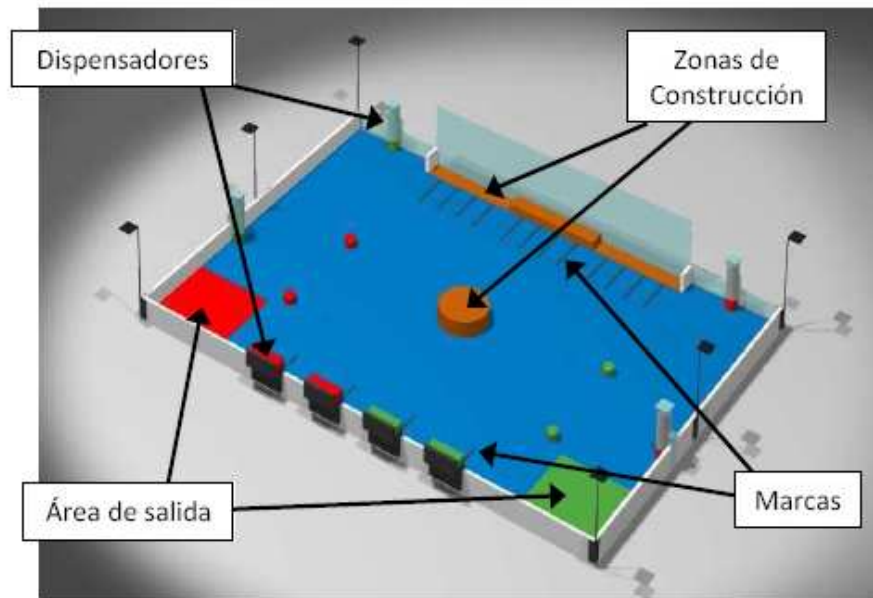
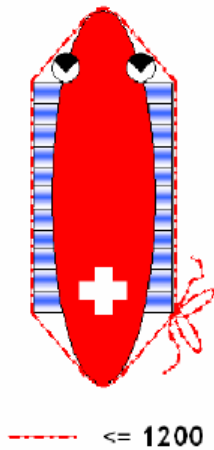


Ilustración 3.1: Distribución de zonas y elementos

Cada equipo tiene permitido participar con un único robot, el cual debe pasar una fase previa a la competición de homologación de las características dimensionales y funcionales. En caso de que durante la competición el robot sufriera un cambio estructural, éste debe volver a pasar por dicha homologación. Además, no está permitido que el robot deje partes de sí mismo sobre el área de juego, por ello, la parte estructural es fundamental en el diseño del robot.

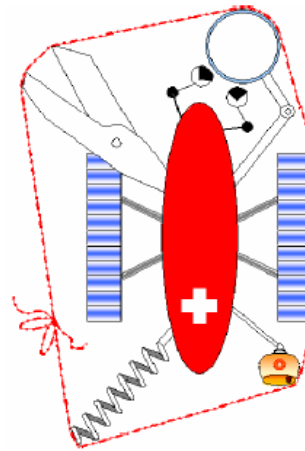
Tan importante es que la estructura no pierda componentes, como que cumpla las dimensiones que indica la normativa, este aspecto como se ha comentado es uno de los que se tiene en cuenta en la fase de homologación y consiste en dos mediciones; una con todas las extensiones cerradas en la que el perímetro no debe exceder los 1200mm y se considera la configuración inicial, y otra con estas abiertas de forma que el nuevo perímetro no sea superior a 1400mm en ningún momento durante el partido. Aclarando esta situación pueden verse las Ilustraciones 3.2 y 3.3.

En cuanto a la altura, esta debe ser inferior a 350mm, excluyendo el mástil para las balizas, en el que si se pueden situar sensores.



--- <= 1200 mm

Ilustración 3.2: Configuración inicial

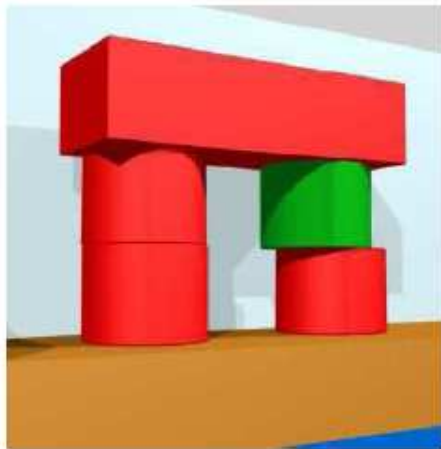


--- <= 1400 mm

Ilustración 3.3: Configuración desplegada

Dejando a un lado las dimensiones, se debe advertir que es necesario tanto un dispositivo de arranque, como uno de parada de emergencia. El primero es un interruptor general atado a una pequeña cuerda de al menos 500mm de largo, de tal forma que al tirar de la misma, se conecta el interruptor. El sistema de parada de emergencia también es un interruptor general modo *seta* que debe permitir parar totalmente la actividad del robot en caso de que un árbitro lo considere necesario. Además de estos dos sistemas de arranque y parada, se requiere un sistema sensorial que detecte al contrario de tal forma que el robot debe esquivarlo y evitar cualquier choque con el contrincante.

Por otro lado, la puntuación depende de la altura a la que se encuentre cada pieza, y esta será válida siempre y cuando la proyección de la misma esté dentro de la zona de construcción. La primera pieza de columna será válida si se encuentra su proyección sobre un área de edificación, el resto de estas piezas serán válidas si se disponen al menos sobre otra pieza de columna, o sobre un dintel. En el caso de los dinteles, serán válidos si están sobre al menos dos piezas de columna. De esta forma, cada pieza de columna siempre que sea válida, equivale a tantos puntos como el nivel que se encuentre, mientras que el dintel, vale tres veces la altura a la que esté.



Un ejemplo de puntuación sería:

Equipo Rojo

Columna izq.: $2 + 3 = 5$

Columna drch.: 2

Dintel: $4 * 3 = 12$

Total: 19 puntos

Equipo Verde

Columna drch: 3

Total: 3 puntos

Ilustración 3.4: Ejemplo puntuación

De igual forma que existe una puntuación positiva, también hay una penalización por destrucción tanto de una columna, independientemente del número de piezas de la que estuviera formada, como de un dintel, y esta depende de la zona en que se produzca, siendo esta penalización puntos extras para el equipo del templo dañado, así queda:

- Zona 1: 10 puntos
- Zona 2: 15 puntos
- Zona 3: 20 puntos

Además, los árbitros tienen la potestad de penalizar al equipo cuyo comportamiento, tanto de los participantes como del robot, no sea acorde con las reglas generales o el espíritu de la prueba. Estos penaltis suponen la sustracción de 3 puntos.

Por último en cuanto a la puntuación, destacar que dependiendo del resultado del partido, se adquieren puntos extras:

- Victoria: 10 puntos
- Derrota: 6 puntos
- Empate: 2 puntos
- Scratch: 0 puntos

El scratch se produce cuando un robot no sale de la zona de salida en lo que dura un partido, que son 90 segundos. Notar que el robot debe funcionar de forma autónoma sin ayuda de los miembros del equipo, ni ayuda externa del tipo gps, bluetooth o similar, de esta forma, el robot que consiga mayor puntuación se proclama vencedor.

3.1.2 ELEMENTOS DE JUEGO

3.1.2.1 Piezas

Cilíndricas

Hay 32 piezas libres para construir columnas situadas en dispensadores; 16 del equipo rojo y 16 del equipo verde. Sobre el área de juego se colocan 6 piezas por equipo, pero su configuración depende de la que salga cuando uno de los equipos elige una tarjeta al azar en cada partido, aunque siempre hay dos piezas en posiciones fijas; las esquinas de la filas exteriores. Las 10 posibles disposiciones pueden estudiarse en la siguiente imagen:

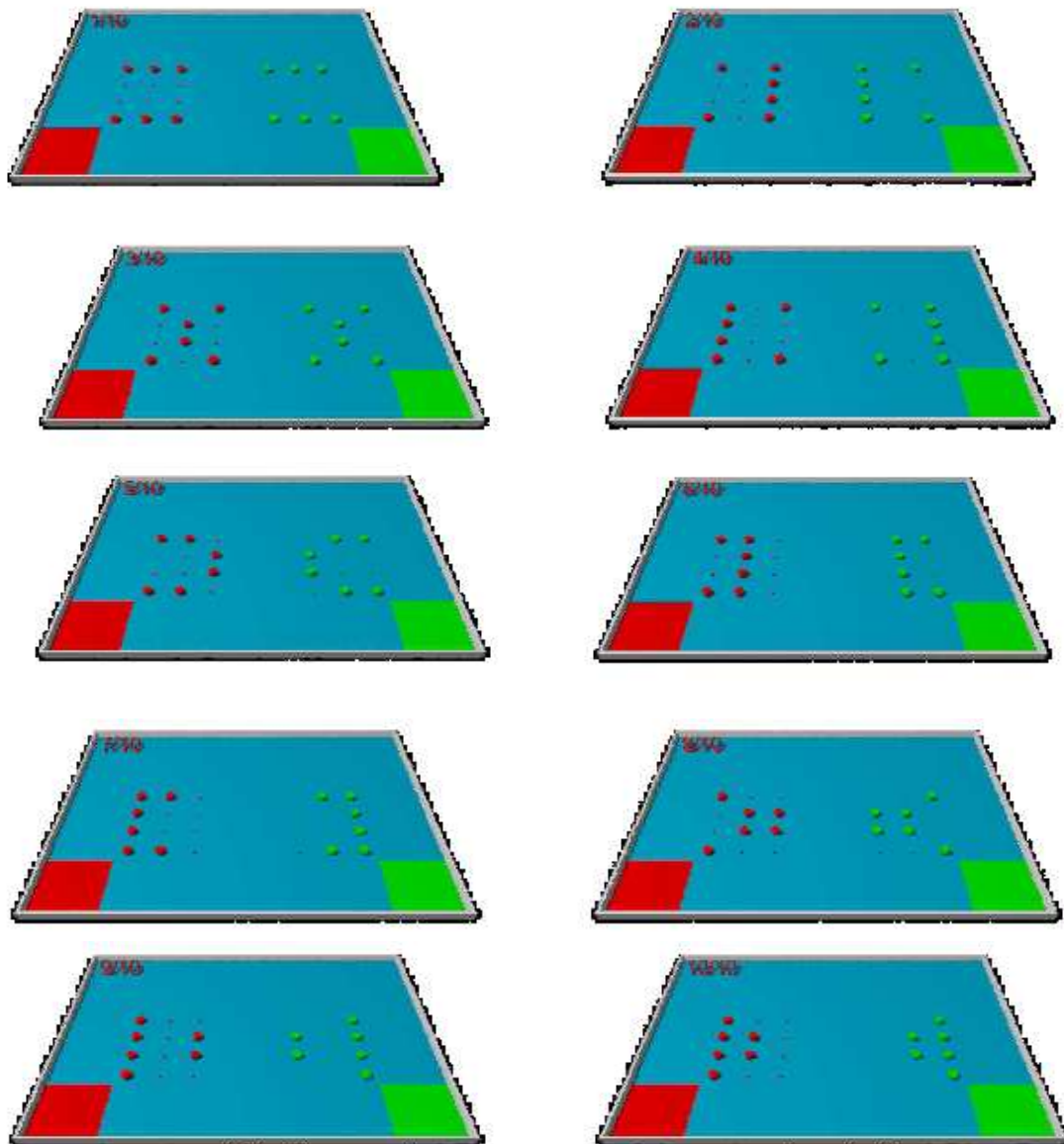


Ilustración 3.5: Posibles configuraciones de las piezas cilíndricas

Los dispensadores verticales de los que se ha hablado tienen dos disposiciones; uno fijo en la pared frontal y otro móvil en la pared lateral, cuyas posiciones también se eligen de forma aleatoria sacando una de las dos tarjetas que se pueden ver en la ilustración 3.6. También en dicha figura se puede apreciar que el dispensador móvil de un equipo se encuentra en la pared simétricamente opuesta al área de salida correspondiente. Lo mismo ocurre con el dispensador fijo.



Ilustración 3.6: Posibles posiciones de los dispensadores móviles

En cuanto a las piezas decir que están fabricadas en madera y tienen forma cilíndrica de 30 mm de altura y 70 mm de diámetro, sus aristas se encuentran biseladas a 45°. Su peso es de 100gr aproximadamente y están pintadas completamente de rojo, o verde, con pintura acrílica mate.

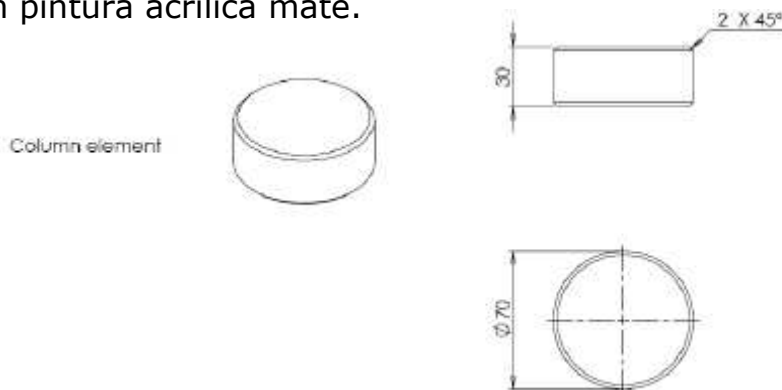


Ilustración 3.7: Dimensiones de las piezas cilíndricas

Dintel

Hay 6 dinteles; 3 de cada equipo, una de estas piezas se puede llevar precargada, mientras que las otras dos se sitúan en dos dispensadores como se puede ver en la Ilustración 3.8. Se encuentran sobre cuatro soportes en la pared trasera, cada soporte guarda un dintel, y estos se encuentran separados por colores, estando los dos de cada color en el lado correspondiente a la zona de salida del robot.

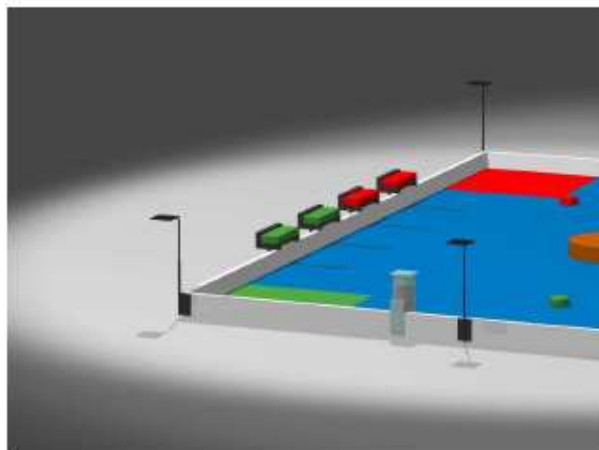


Ilustración 3.8: Distribución de los dispensadores de dinteles

Los dinteles están fabricados también de madera, sus dimensiones son 200mm de largo, 70mm de ancho y 30mm de alto, siendo su peso de 300gr aproximadamente. De igual forma que las piezas de las columnas, los dinteles tienen sus aristas biseladas a 45°, y la pintura empleada también es la misma.

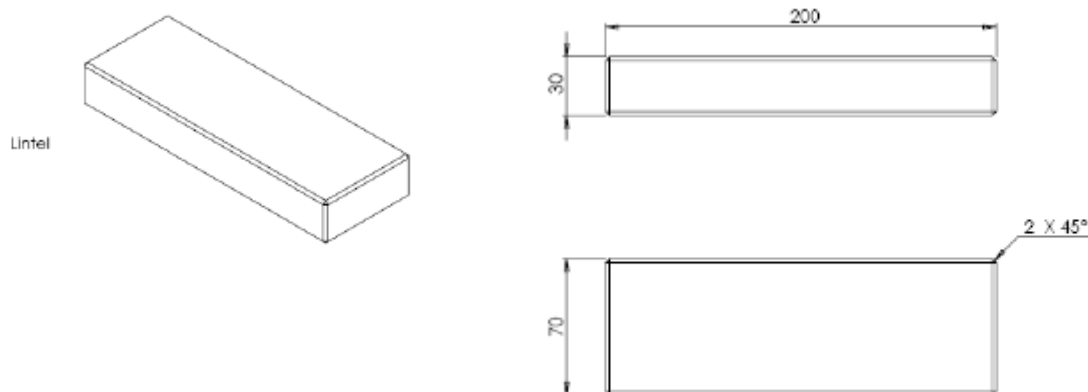


Ilustración 3.9: Dimensiones de los dinteles

3.1.2.2 Área de juego

Las dimensiones del área de juego son de 210 cm de ancho y 300 cm de largo y la superficie está pintada de azul. Hay tres zonas donde se puede construir, Zona 1 a nivel de la superficie, Zona 2 a 3cm de altura, y la Zona 3 a 6cm de altura. Ambos robots deben compartir las zonas de construcción, teniendo en cuenta que no pueden destruir el templo del contrario.

Las posiciones aleatorias de los dispensadores y de las posiciones de las piezas de las columnas se determinan al inicio del partido mediante unas fichas elegidas al azar.

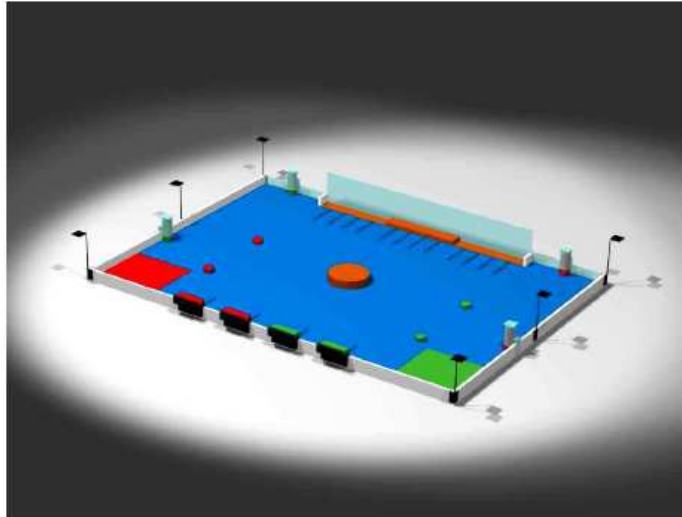


Ilustración 3.10: Área de juego

Zona de salida

Las áreas de salida están en las esquinas del tablero opuestas a las zonas de construcción 1 y 2. Cada área de salida es un cuadrado de 500mm de lado del color de cada equipo respectivamente (rojo o verde). Los robots se colocan en cada una de sus zonas de salida al comienzo de cada partido, con la configuración inicial, es decir, con todas las articulaciones cerradas.

Notar que no es necesario que el robot esté en contacto con los bordes

Borde

El borde es de madera 70mm de alto (sobre el nivel del tablero) y 22mm de ancho, con todas las paredes pintadas de blanco acrílico, sin embargo todo el frontal que corresponde al borde del lado de las zonas de construcción 1 y 2 es de plexiglas de 10mm de espesor. Este a su vez se diferencia en dos partes, la que pertenece a las zonas de construcción, de 250mm de alto, y el resto, de 70mm de alto como los demás bordes.

El motivo de que esta parte sea de plexiglas transparente se debe a que desde la organización se quiere facilitar la visualización de las construcciones realizadas en estas zonas, tanto para los árbitros como para los espectadores.

Los dispensadores de las piezas de cilíndricas están fabricados de plexiglas el embase, y de madera pintada de blanco la estructura y la tapa, que a su vez esta forrada de Velcro rugoso para poder fijar las balizas. Sin embargo, los dispensadores de los dinteles son completamente de madera pintada de negro acrílico.

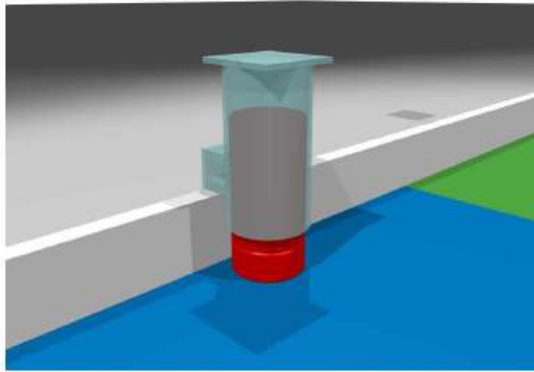


Ilustración 3.11: Dispensador de piezas cilíndricas

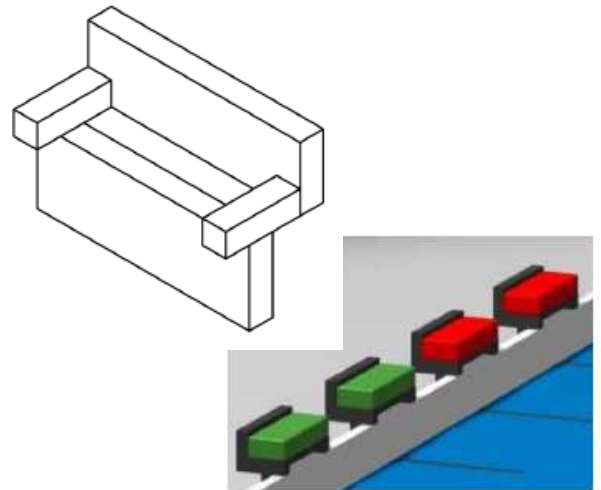


Ilustración 3.12. Dispensador de dinteles

Soporte para las balizas

Existen dos tipos de balizas; las del terreno de juego y la de los dispensadores de piezas de columna.

Las del terreno de juego se encuentran en cada una de las esquinas del mismo y en el medio de cada uno de los lados laterales (los cortos). En esos puntos se instalan soportes para balizas de localización del robot, la situación de las mismas así como cual pertenece a cada quipo puede verse en la Ilustración 3.13.

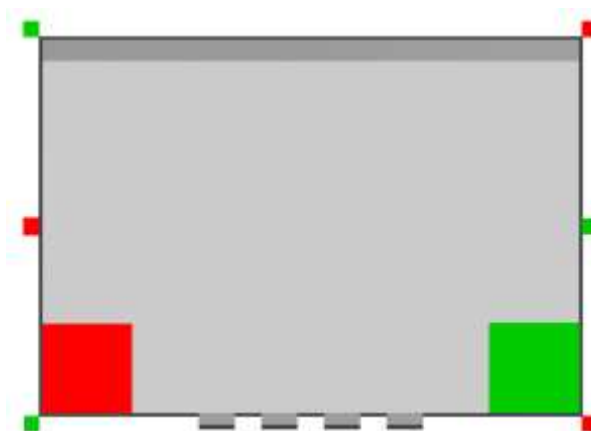


Ilustración 3.13: Distribución de balizas

Estos soportes para balizas consisten en una plataforma de madera cuadrada de 80mm de lado sostenida a 350mm de altura sobre la superficie del tablero. La superficie de dicha plataforma se recubre de Velcro rugoso. Los mastiles de estos soportes tienen forma cilíndrica de 10mm de diámetro y están pintados de negro.



Ilustración 3.14: soporte para baliza

El otro tipo de balizas son las que sirven para detectar los dispensadores de piezas de cilíndricas. Estas balizas se fijan mediante Velcro a la tapa que poseen los dispensadores.

Las dimensiones que pueden tomar son:

- 1_Baliza terreno: 80x80x160 mm
- 2_Baliza dispensador: 80x80x80 mm
- 3_Mastil para sensores

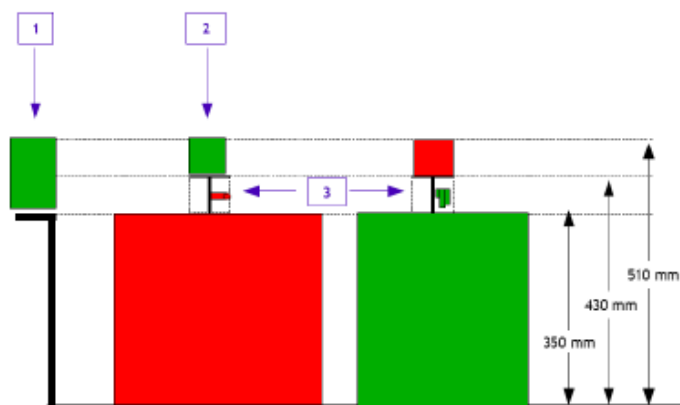


Ilustración 3.15: Balizas

Cada robot debe disponer de un mastil en su zona superior para poder colocar la baliza correspondiente en caso de que el contrincante utilice este tipo de detección. La altura de este mastil viene determinada por la altura del robot y la altura a la que se debe colocar la baliza. Como mínimo debe medir 80mm si es que la altura del robot es máxima (350mm). De igual forma que el resto de plataformas para balizas, la base de esta también está forrada de Velcro rugoso.

Zonas de construcción

Existen tres zonas de construcción:

- Zona 1: situada a nivel de la superficie de juego en el borde frontal. Hay dos zonas de este tipo, una a cada lado de la zona 2, quedando limitadas por esta zona, y por una pared de 100cm de ancho, 70cm de alto y 22mm de espesor en el lado que queda libre. Cada zona 1 tiene 600mm de largo y 100mm de ancho.
- Zona 2: esta zona se encuentra a 3cm sobre el nivel del suelo y se sitúa, como se ha indicado anteriormente, en el centro lado frontal, entre las dos zonas 1. Esta plataforma tiene 600 de largo y 100mm de ancho.
- Zona 3: a 6cm sobre el nivel del suelo, se encuentra en el centro geométrico del campo. Es la superficie que mayor puntuación ofrece y tiene forma cilíndrica, de 300mm de diámetro.

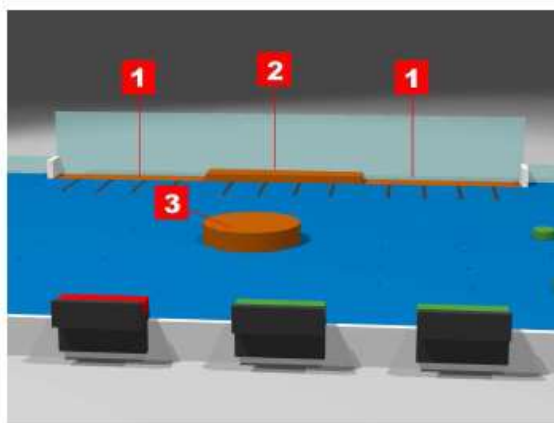


Ilustración 3.16: Zonas de construcción

Todas las zonas de construcción están pintadas de color marrón chocolate, ya están fabricadas en madera, salvo las zonas 1, que se pertenecen a la misma estructura de la superficie de juego.

3.2 Estrategia y descripción general del microrobot

La decisión principal y en función de la cual se diseñó todo el robot es la altura a la que iba a construir. Ya que a mayor altura la puntuación era mayor, se decidió construir en la zona central.

Como los dispensadores de piezas del color con el que se jugaba en cada momento estaban colocados en el lado opuesto a la zona de salida, y la posibilidad de encontrarse con el oponente era muy alta, se decidió recoger primero las piezas del suelo.

Por ello la estrategia que se implantó en el robot consistía en:

- Buscar y recoger las piezas situadas en el suelo hasta llevar un total de 4, más el dintel precargado.
- Dirigirse a la zona central y depositar dichas piezas en 2 columnas de 2 elementos cada una, más el dintel en la parte superior, formando así un templo.
- Empujar la construcción, lentamente para no destruirla, para evitar que la proyección de alguna de las piezas no se encontrara dentro de la zona de edificación, lo que haría que la construcción no fuera válida.
- Recoger piezas de nuevo, esta vez, del dispensador fijo. Otra vez 4, ya que es el máximo permitido.
- Volver a la zona de construcción, al mismo punto que antes, y depositar 2 columnas de 2 elementos en el espacio dejado anteriormente en frente de la primera construcción.

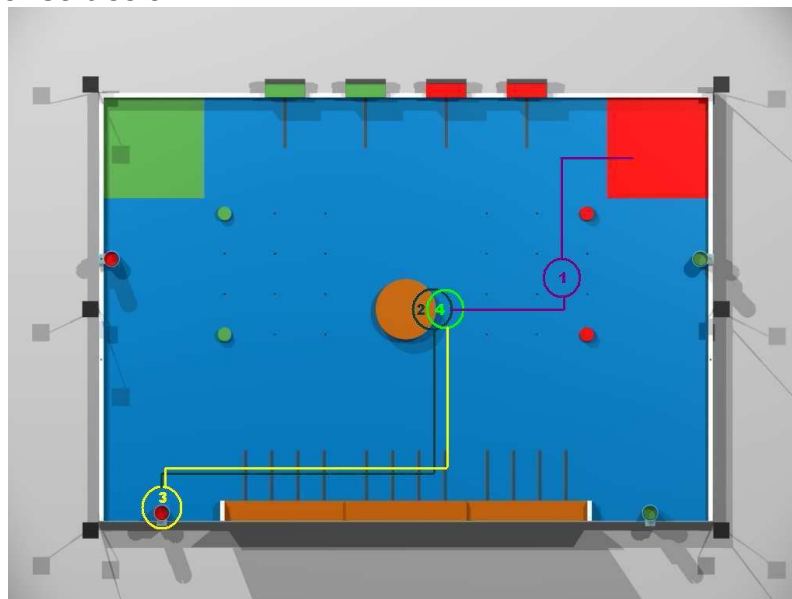


Ilustración 3.17: Estrategia seguida

Es importante tener en cuenta los aspectos del tiempo reducido y las penalizaciones por colisión con el oponente y por destrucción de construcciones.

Para llevar acabo dicha estrategia se optó por el siguiente diseño:

Estructura física:

Consta de una base de poliuretano extruido de 5mm de espesor y un conjunto de paredes y techo del mismo material. El apoyo del robot se distribuye entre las 2 ruedas locomotrices situadas en el eje horizontal del robot, una a cada lado de éste, y 3 ruedas locas, una en la parte central del robot y otras 2 en la zona delantera, una a cada lado de éste.

Sistema de recogida, manipulación y construcción de piezas:

Está compuesto por una cinta de caucho, que mediante un motor de corriente continua y el pertinente interruptor electrónico, traslada las piezas del punto de recogida, a nivel del suelo, a la plataforma de construcción, a 6,2 cm. También lo componen una plataforma de construcción normalmente desplegada con retorno por muelle y una bandeja deslizante donde almacenar el dintel. Además, para facilitar la subida de las piezas a la cinta y evitar que ésta roce con el suelo, existe una pequeña rampa de aluminio que conecta la cinta con el suelo. Para poder recoger las piezas, colocarlas en la plataforma de construcción y retirar la bandeja que sostiene el dintel, dejándolo caer así sobre el resto de la construcción y formando el templo, se dispone de un conjunto de servomotores.

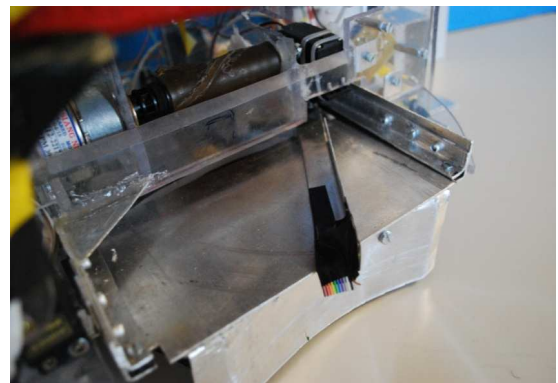
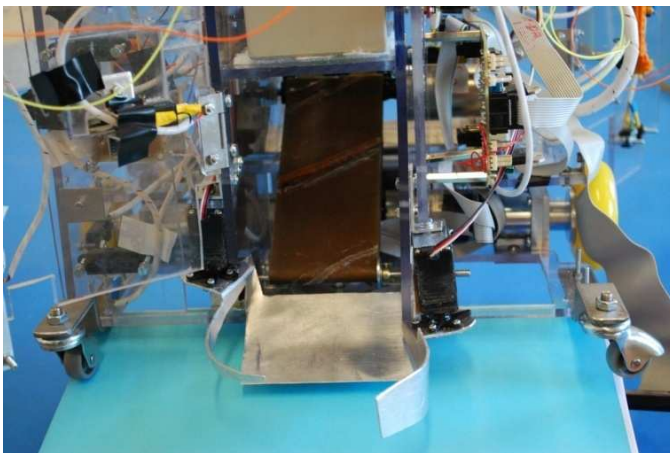
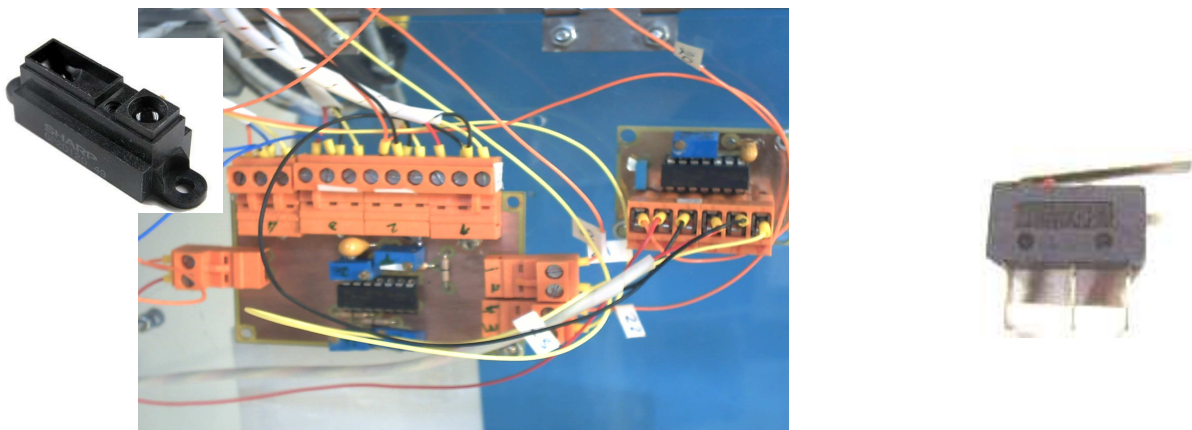


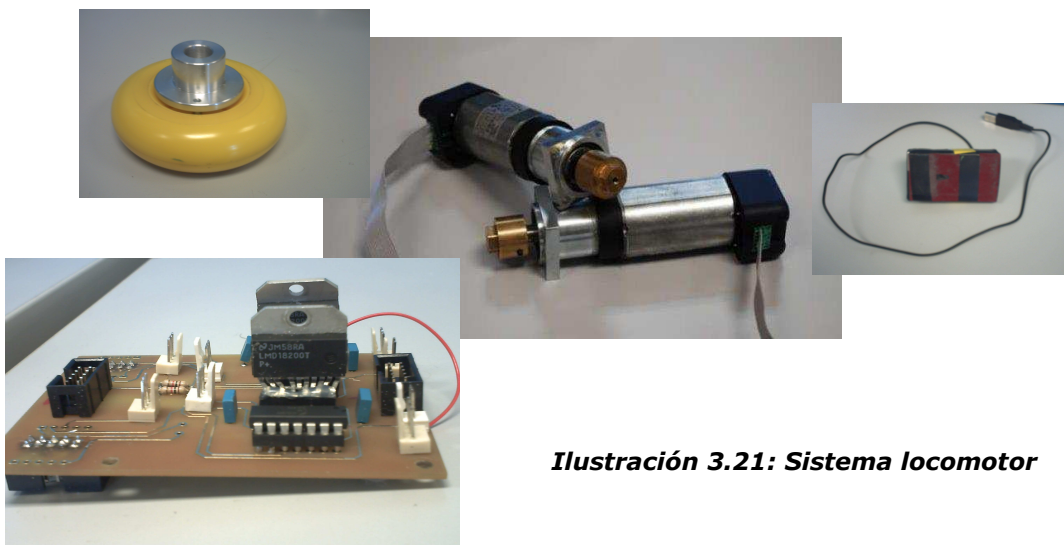
Ilustración 3.18: Sistema de recogida

Sistema sensorial:

Para la adquisición de datos y así permitir la autonomía del robot, éste lleva instalados una serie de sensores. Sensores infrarrojos para la detección de elementos externos, tanto oponentes como elementos estructurales que ayudan a la deducción de la posición en el terreno de juego; y para la detección de piezas en el recorrido de estas por el interior del robot. Bumpers para la detección de fin de carrera de la plataforma de construcción o la detección del paso de una pieza por la cinta transportadora. Así como las placas de acondicionamiento de señal de los sensores infrarrojos.

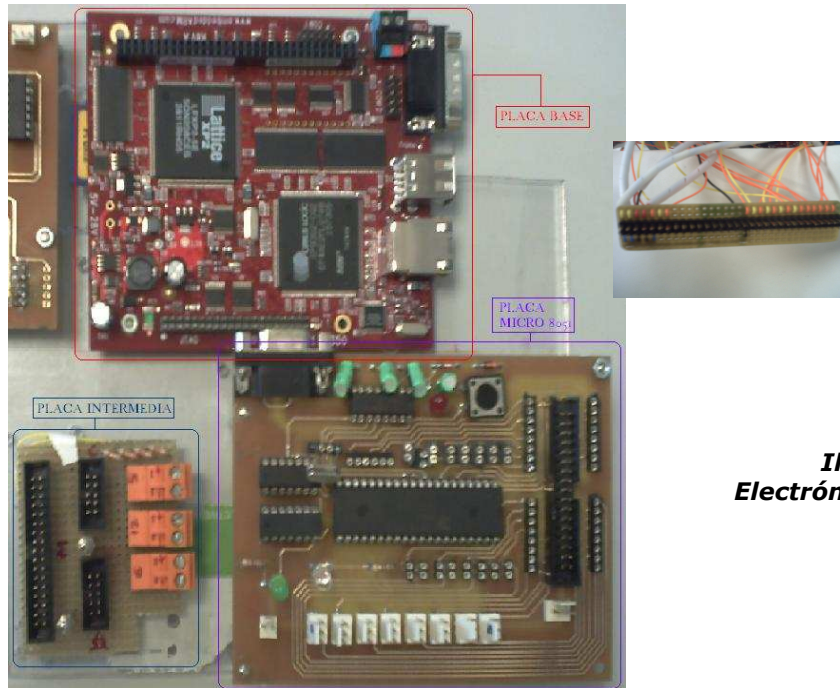
***Ilustración 3.20: Sistema sensorial*****Sistema locomotor y de posicionamiento:**

Lo componen los 2 motores locomotrices, los encoders de éstos y la placa de control de ambos. Además de 2 ratones para la medición del desplazamiento como complemento a la información adquirida de los encoders y de los sensores infrarrojos.

***Ilustración 3.21: Sistema locomotor***

Sistema de control:

Consta de una placa base principal, es una placa orientada a la robótica, y una placa con un microcontrolador 5081 para el control de los motores y los servomotores. Además de una placa intermedia que sirve de conexión entre los diferentes elementos controlados y de hardware. También se completa con una pequeña placa de adaptación para la conexión de las señales de los sensores a la placa base.



***Ilustración 3.22:
Electrónica del sistema
de control***

Alimentación:

El microrobot dispone de una batería de 12V continuos. Con ella se alimentan todos los sistemas nombrados anteriormente. Para la correcta alimentación, esta tensión es transformada a 5 y 7,2 voltios mediante 2 placas de potencia.



Ilustración 3.23: Batería

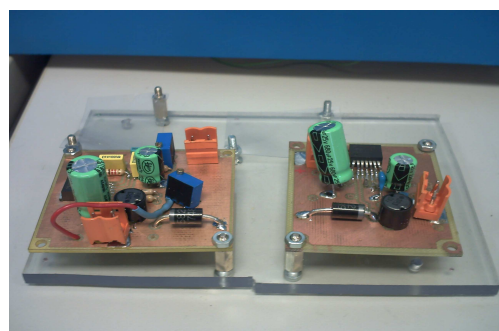


Ilustración 3.24: Etapas de potencia



CAPÍTULO 4:

SISTEMA FÍSICO-MECÁNICO

4.1 ESTRUCTURA FÍSICA Y SISTEMA MANIPULADOR

4.1.1 Estructura base

La estructura física presentaba una serie de requisitos. Uno de los principales es el volumen máximo permitido por normativa del concurso. Por simplicidad a la hora de la manipulación y construcción de las piezas, la cinta transportadora se colocó en el centro de la estructura, lo que limitaba las posibilidades a la hora de distribuir el resto de elementos.

La estabilidad es un factor importante que se debe tener muy en cuenta a la hora de diseñar la estructura del microrobot. La disposición de los elementos en el interior debe realizarse de manera uniforme para conseguir una buena estabilidad. La batería, por su elevado peso, y al no haber otros elementos de un peso similar, no debía colocarse en un lateral, a ser posible se colocaría en la zona baja para mejorar la estabilidad, pero al no ser esto posible por la disposición de la cinta transportadora, se optó por colocarla en la zona central pero en altura.

El material que se eligió para conformar tanto la base como paredes y techo es el poliuretano extruido de 5mm de espesor ya que dispone de una consistencia suficiente, es de fácil manejo, y transparente, característica deseable para hacer más didáctico el robot al tener a la vista los sistemas internos.

Por la inestabilidad generada con el movimiento y las diferencias de peso entre los momentos en los que se encuentra cargado de piezas y en los que no, se colocaron unas ruedas locas. 2 en la zona frontal, una a cada lado y otra de bola en el centro de la base.

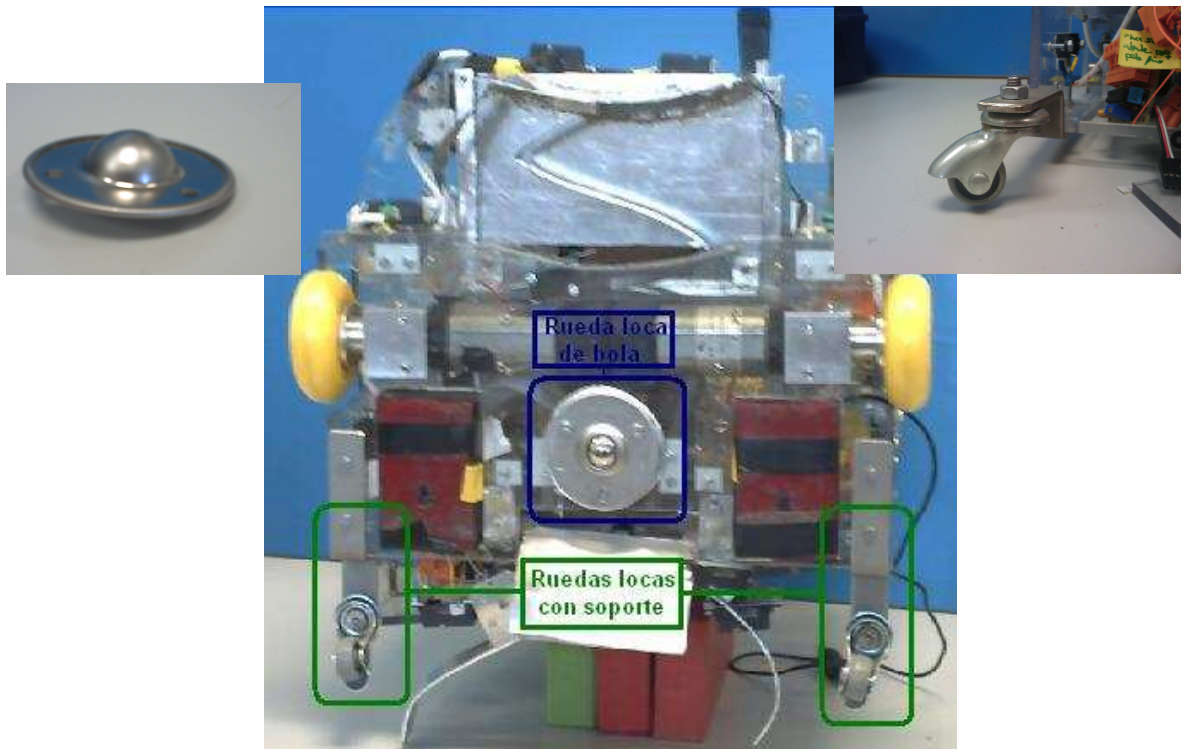


Ilustración 4.1.1: Estructura base

Para facilitar el acceso a toda la estructura y sistemas internos, se abisagraron el techo y algunas paredes para su apertura. La pared trasera y la izquierda son fijas, mientras la frontal, que da acceso a la batería, y la derecha, que da acceso a la electrónica de control son articuladas.

4.1.2 Cinta, motor y placa control del motor

La cinta transportadora es de caucho de 7 cm. de ancho por 32 cm. de largo. El ancho de la cinta que se ha utilizado es el mismo que el diámetro de las piezas cilíndricas que transportará. El largo es el necesario para elevar las piezas a 9 cm., altura de la segunda fila de piezas, teniendo en cuenta la profundidad que se puede tener. Además tiene incorporados unos separadores que dividen a la cinta en cuatro partes iguales. Estos separadores son también de caucho y actúan a modo de relieve de seguridad, de tal forma que impiden que la ficha que se está elevando se deslice y descienda por la cinta.

Esta cinta tiene asociado dos ejes concéntricos, uno inferior, a 3,5 cm del suelo, que gira sobre unas piezas de aluminio macizas de 20 mm de espesor sin problema de desgaste y fricción, pues se encuentra engrasado, y uno superior que gira solidario al motor de continua a 11.5cm del suelo. El eje inferior es una varilla de acero de 5 mm de diámetro que dispone de una abrazadera con una arandela a modo de tope en el lado derecho, para que, por motivos de seguridad, la cinta quede centrada en la posición deseada. Para fabricar el eje superior se ha reutilizado el eje de una impresora, la forma geométrica y las gomas de las que dispone hacen de esta pieza la mejor opción pues aportan un agarre adicional a la cinta de tal forma que no toda la fuerza de movimiento la ejerce el motor.



Ilustración 4.1.2: Pieza aluminio macizo



Ilustración 4.1.3: Cinta transportadora



Ilustración 4.1.4: Eje superior de la cinta transportadora

Para generar el movimiento de la cinta se utilizó un motor reductor de 7,2 V ya que está especialmente indicado para su utilización en robots; proporciona 291 revoluciones por minutos en vacío, con un consumo de 120 mA. Se puede destacar de este motor que tiene opción de usarse a 12 V siempre y cuando no sea de forma continua. El eje del motor es de 6 mm y se acopla perfectamente con los casquillos que se han diseñado para este robot.



Ilustración 4.1.5: Motor de CC de la cinta

Para el control del motor se ha utilizado un interruptor implementado mediante un transistor mosfet de potencia modelo IRF530. Se ha utilizado este transistor para poder aplicar la potencia necesaria al motor y que pudiera activarse con la tensión que genera el microprocesador utilizado, en este caso 3,3 V. Para eliminar los efectos de la elevada capacidad parásita de entrada al transistor se puso una resistencia en serie a la entrada. Con esto se consiguió un funcionamiento correcto y fiable de este dispositivo hardware.[16]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{\text{GS(th)}}$	Gate Threshold Voltage	$V_{\text{DS}} = V_{\text{GS}}$ $I_{\text{D}} = 250\ \mu\text{A}$	2	3	4	V
$R_{\text{DS(on)}}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{\text{GS}} = 10\ \text{V}$ $I_{\text{D}} = 7\ \text{A}$		0.115	0.16	Ω

Ilustración 4.1.6: Características IRF530 Output Characteristics

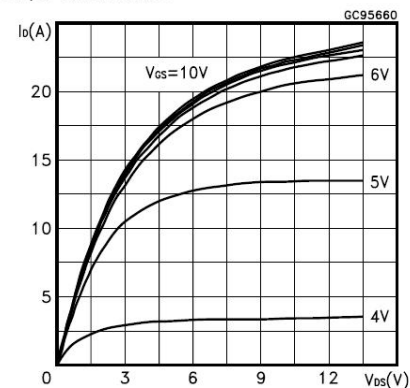
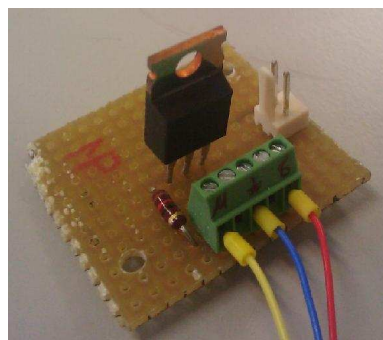
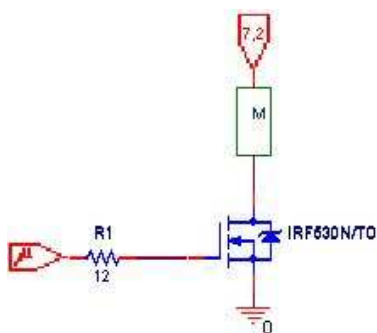


Ilustración 4.1.7: Esquema y fotografía interruptor

Ilustración 4.1.8: Gráfica IRF530

4.1.3 Servomotores:

Para la recogida, manipulación y construcción de las piezas se han utilizado unos servomotores de FUTABA modelo S3003. Este tipo de servomotores permite movimientos de 180° en cada sentido, controlado por una señal pwm. Se han utilizado 5 servomotores en total. 2 para la recogida, uno para cada pala a cada lado de la rampa de entrada. Otro para colocar las piezas en la plataforma de construcción. Y uno para el manejo de la bandeja que sostiene el dintel precargado. Estos servos se alimentan a 6V y el rango de tiempo en que se puede mantener la señal de control a "1" oscila entre 0,3 y 2,1ms (0 y 180 grados respectivamente), siendo 1,2ms la posición central. El ángulo de posición θ viene dado por la fórmula:

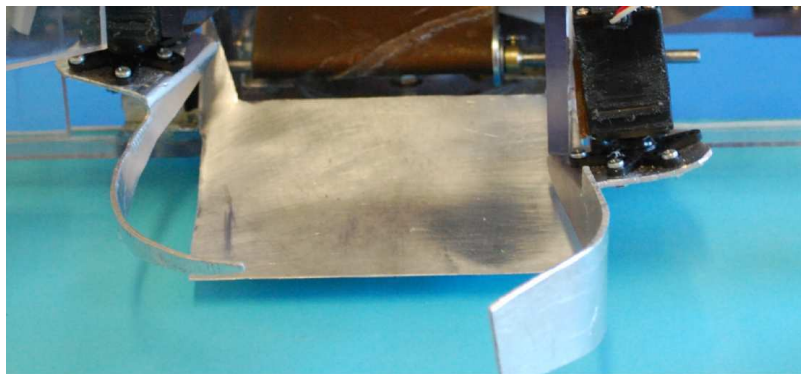
$$t = 0,3 + \theta/100$$

donde t está dado en ms y θ en grados. [17]

*Ilustración 4.1.9: Servomotor Futaba*

4.1.4 Recogida:

Se basa en la utilización de 2 servomotores con unas palas unidas a su eje de giro. La derecha o “pala ancha” que sirve de guía para el recorrido de la pieza hasta el interior del robot y sujeta las piezas superiores en la recogida de dispensador. La izquierda o “pala fina” que se utiliza para desplazar la pieza. Sirven tanto para la recogida de piezas del suelo, como para la recogida en dispensador. Estas palas están construidas con aluminio de bajo espesor que permite una fácil manipulación para aplicarle la forma deseada a las palas, y al mismo tiempo aporta una rigidez, robustez y consistencia suficiente para poder soportar la presión a la que se ven sometidas en operación.

*Ilustración 4.1.10: Elementos de recogida*

Para mejorar el proceso de recogida y el posicionamiento de las piezas sobre la cinta, se colocó una pequeña rampa, también de aluminio, por su fácil deformación y la posibilidad de ajuste a la óptima forma. Con la ayuda de sensores infrarrojos (que se explicaran en el capítulo 3) se controla la existencia o no de piezas en la zona de recogida.

Cuando se detecta un pieza en dicha zona, o se activa el bumper de contacto con el dispensador, se mueve la pala ancha a la posición de medio recorrido, después la pala fina a su posición de medio recorrido con lo que ya se tiene entre las palas una de las piezas, es entonces cuando se activa la cinta transportadora. A continuación, la pala fina empuja la pieza hacia el interior del robot.

En el caso de recogida del suelo, la pala ancha sigue a la fina, todo esto durante 1,5 segundos. Y a continuación a pala ancha vuelve a su posición inicial y la fina a la suya.

En caso de recogida del dispensador, la pala ancha se mantiene sujetando las piezas superiores mientras la pala fina vuelve a la posición inicial. Posteriormente la pala ancha vuelve a la posición inicial dejando caer otra pieza en la zona de recogida.

Si el cuenta ficha es menor que tres, ejecutará los mismos movimientos hasta que haya recogido tres piezas, en ese momento, tras recoger la cuarta el robot mantendrá encendida la cinta 8 segundos y pondrá el contador de fichas de nuevo a cero. (Ver secuencias fotográficas de recogida en anexos)

4.1.5 Manipulación:

Una vez las piezas se encuentran en la cinta transportadora, ésta las conduce hasta la plataforma de construcción. Mediante unos servos a los que están acopladas unas palas, se va colocando las piezas, según van llegando, en forma de 2 columnas de 2 elementos cada una. Con la pala inferior se colocan las 2 piezas inferiores y con la superior las superiores. Durante el traslado de las piezas, mediante un sensor infrarrojo, se contabiliza el número de piezas recogidas para evitar almacenar más de 4, ya que este número es el máximo permitido por normativa y cuyo exceso supone penalización.

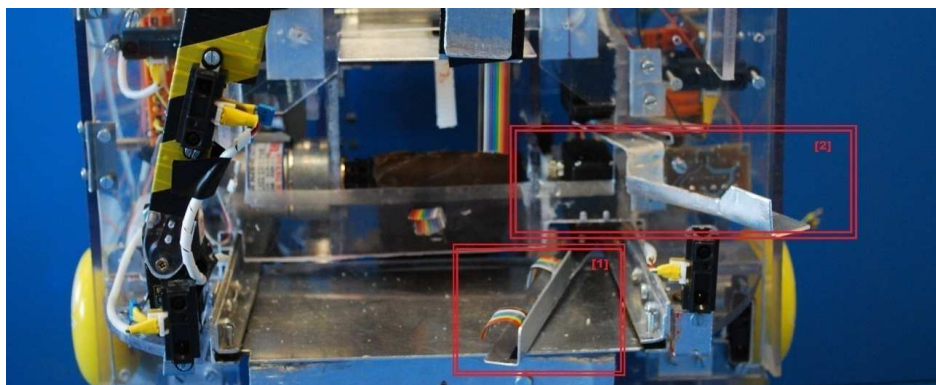


Ilustración 4.1.11: Elementos de manipulación

4.1.6 Construcción:

Cuando las piezas cilíndricas están colocadas en la plataforma, se depositan mediante la retracción de la plataforma al presionarla con la zona de construcción, esto ocurre al empotrar el microrobot contra dicha zona. El retorno de ésta a su posición desplegada se produce por la acción de un fleje. El mismo sistema se utiliza para desplazar la construcción hacia el interior de la zona habilitada para ello, pero a una velocidad menor para no tirarla.

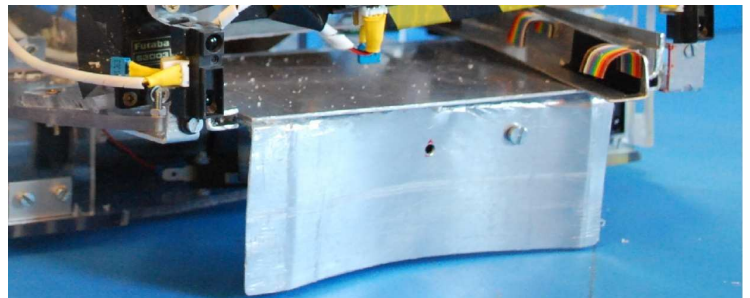
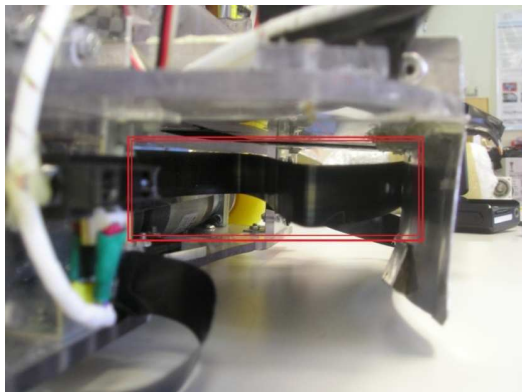


Ilustración 4.1.12: Elementos de construcción

Para depositar el dintel se utiliza un servomotor y una bandeja retráctil, con una cuerda se convierte el movimiento angular del servo en un movimiento lineal que desplaza la bandeja que sostiene el dintel hacia dentro dejándolo caer sobre la construcción. Además, para evitar que la construcción se caiga de la plataforma durante el movimiento, se ha colocado una barrera de seguridad, ésta se mantiene a 0 grados mientras se recogen las piezas y el robot se dirige a la zona de construcción, antes de empotrarse contra ella, la barrera se coloca a 90 grados y se mantiene en esta posición hasta que termina todo el proceso de construcción. (Ver secuencias fotográficas de construcción en anexos)

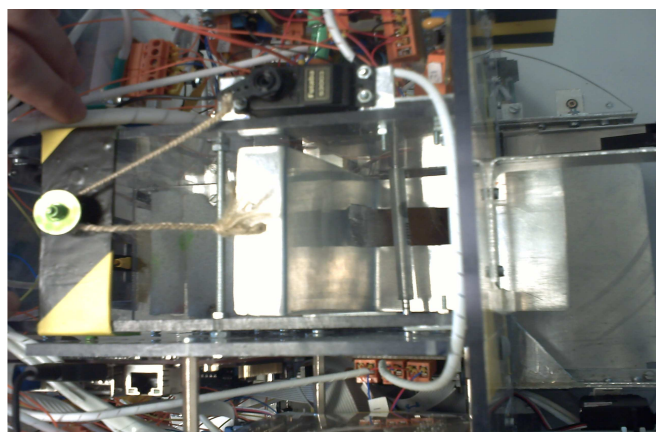


Ilustración 4.1.13: Bandeja de dintel

4.2 SISTEMA LOCOMOTOR Y DE POSICIONAMIENTO

4.2.1 Motores y ruedas

El movimiento del robot se produce a través de 2 motores de corriente continua Bernio MR 615 30 Q, situados en un mismo eje horizontal en la base del robot. Mediante unos casquillos hechos a medida, se les acoplan las ruedas que transforman el giro de los motores en movimiento. Se han elegido estos motores porque proporcionan la fuerza, el par y la velocidad necesaria para mover el robot de manera adecuada.

En nuestro caso, los motores Bernio utilizados trabajarán a un voltaje nominal de 12 voltios, generando, según sus hojas de características, unas corrientes de pico de hasta 5,4 amperios y corrientes nominales de aproximadamente 1,2 amperios. [18]

Con estos datos en la mano se optó por utilizar el driver LMD18200T, el cual es capaz de operar en tensiones de 12 Vcc soportando corrientes de pico de hasta 6 A y corrientes nominales de hasta 3 A. [16]

PROPIEDAD	Uds.	Min.	Nom.	Max.
Tensión nominal	V	12		24
Corriente en vacío	A		1	
Velocidad en vacío	Rpm	284	315	346
Par nominal (max permanente)	Nm		0.88	
Corriente nominal (max en continuo)	A		1	
Par de arranque	Nm	2.8	3.1	3.4
Corriente de arranque	A		5.4	5.4
Max velocidad permitida sin reducción	Rpm		4600	
Rango temperatura ambiente	°C	-20	25	80
Temperatura máxima	°C		85	

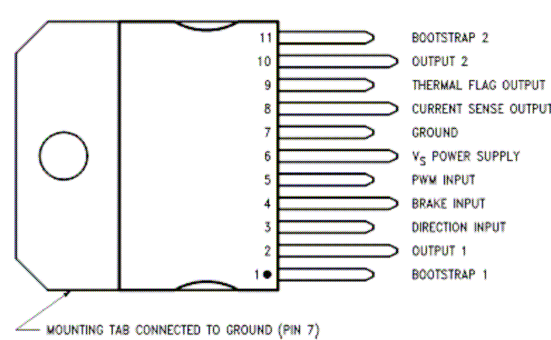
Ilustración 4.2.1: Características de los motores

**Ilustración 4.2.2: Motores**

Como en todos los motores de corriente continua, la dirección de giro se controla mediante la polaridad de sus terminales, de manera que si invertimos esta el sentido de giro también se invierte.

La velocidad en este tipo de motores viene determinada directamente por el nivel de tensión aplicado en sus terminales, de manera que cuanto mayor sea el voltaje aplicado mayor será la velocidad de giro. De esta manera podemos controlar fácilmente el sentido y la velocidad del motor.

El driver LMD18200T, genera una tensión diferencial en función de los datos de dirección, freno y pwm enviados por el microprocesador 8052. En nuestro caso, para el freno de las ruedas, se utilizó el bloque del motor, por lo que las patillas de freno de los drivers se conectaron a '0'.

**Ilustración 4.2.3: Patillaje LMD18200T**

Los puertos del microprocesador a los que se conectan las señales de dirección y pwm, no están activos por defecto, por lo que se han colocado unas resistencias de pull-up. [19]

Las ruedas que se han elegido son del modelo HYPER HOCKEY PRO 250, propias de patines en línea, para las que se diseñaron unos casquillos de aluminio como nexo de unión entre las ruedas y los motores de las mismas.

El agarre de éstas es mucho mejor que con las ruedas de neopreno usadas en ediciones pasadas. Los casquillos empleados se han fabricado de aluminio, ya que su requisito principal es la ligereza al ser elementos interiores y no sufrir impactos con elementos externos. [3]



Ilustración 4.2.4: Ruedas

4.2.2 Encoders

Para que el robot se dirija a un lugar u otro, debe conocerse donde se encuentra. Esta tarea se realiza, principalmente, mediante los encoders acoplados a los motores. Estos encoders son de la marca Bernio, modelo EB50 y se adquirieron junto a los motores de forma que están ensamblados en fábrica.

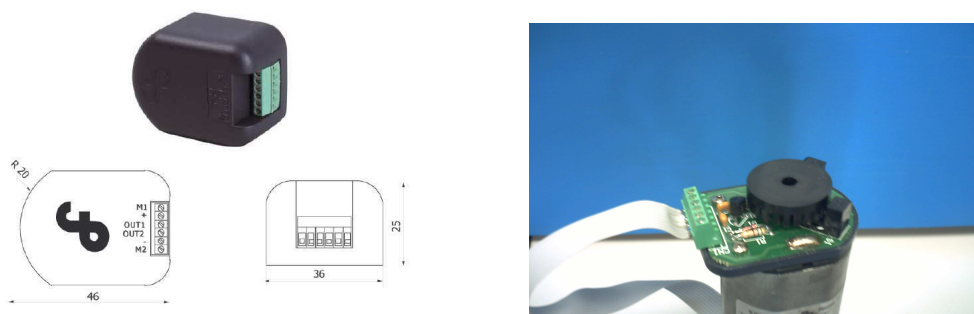


Ilustración 4.2.5: Encoder

Estudiando las hojas de características proporcionadas por el fabricante observamos que este modelo puede funcionar tanto en modo unidireccional como en modo bidireccional, proporcionando 50 y 25 pulsos por vuelta respectivamente.

El rango de alimentación estará comprendido entre 6 y 24 Vcc y será necesario situar una resistencia de pull-up entre la alimentación y la salida para obtener un adecuado acondicionamiento de la señal de salida del encoder. [18]

Para nuestro caso se optó por utilizar el modo bidireccional alimentándolo a 7,2Vcc, por lo que cada canal de salida nos proporcionará 25 pulsos por vuelta. Habrá que tener en cuenta que, al estar dotado el motor de una reductora, el número de pulsos proporcionados por el encoder en una vuelta aumentará en el mismo orden, por lo tanto la reductora 1/16 del motor los incrementará hasta un valor de 400 pulsos por vuelta. A continuación se muestra un esquema de conexión del modo bidireccional.

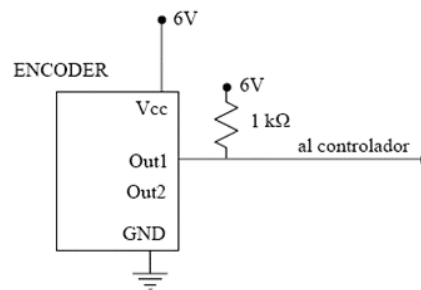


Ilustración 4.2.6: Esquema modo bidireccional

4.2.3 Sistema de odometría

Como complemento a este sistema de posicionamiento, también se han instalado un sistema de odometría consistente en la utilización de la electrónica y mecánica de 2 ratones ópticos para PC. Éstos se utilizan para corregir las posibles desviaciones de medida de los encoders, lo que se puede producir cuando el movimiento de los motores no es el mismo que el del robot. Por ejemplo, si el robot está chocando contra una pared, los motores seguirían girando, lo que contaría como desplazamiento para los encoders y sin embargo el robot no se estaría moviendo, este "no movimiento" sería recogido por los ratones. También, podría ocurrir dicha descompensación si el robot se ve desplazado por la acción del oponente, que aunque está penalizado por normativa, no es difícil que ocurra.

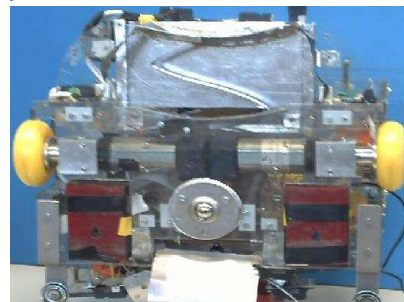


Ilustración 4.2.7: Sistema de odometría

4.2.4 Placa motores (drivers)

Para la adquisición de los datos de los encoders y el control de los motores se ha utilizado una placa que incorporan los drivers LMD18200T necesarios. En esta placa se realizan las operaciones de las señales de los motores y los encoders. Las entradas y salidas de la placa se realizan mediante conectores IDC y cables planos. A ésta le llegan las señales de dirección, freno y pwm de cada motor que, tras pasar por sendos buffers, se envían a los drivers. Con estos datos los drivers proporcionan una salida, esta salida es en forma de una tensión diferencial mediante 2 tensiones puntuales. Esta tensión diferencial es la transmitida a los motores por su correspondiente cable IDC, y puede variar entre 12 y -12 voltios. Además, los drivers están alimentados a 7,2V y generan cada uno una señal (al utilizar modo bidireccional) que se envía al microprocesador. Por todo esto, la placa cuenta con 4 conectores IDC, 2 para conectar los conjuntos motor-encoder a la placa (1 para cada conjunto), 1 que suministra la alimentación necesaria a la placa y sus elementos (y de ella a los motores y encoders) y 1 para la transmisión de señales entre microprocesador y placa (las recibidas de los encoders por la placa y transmitidas al micro o las enviadas del micro a la placa y recogidas por los drivers). [16]

Para un mejor entendimiento, se muestran a continuación un esquema de las señales que pasan por la placa y unas fotografías de la misma.

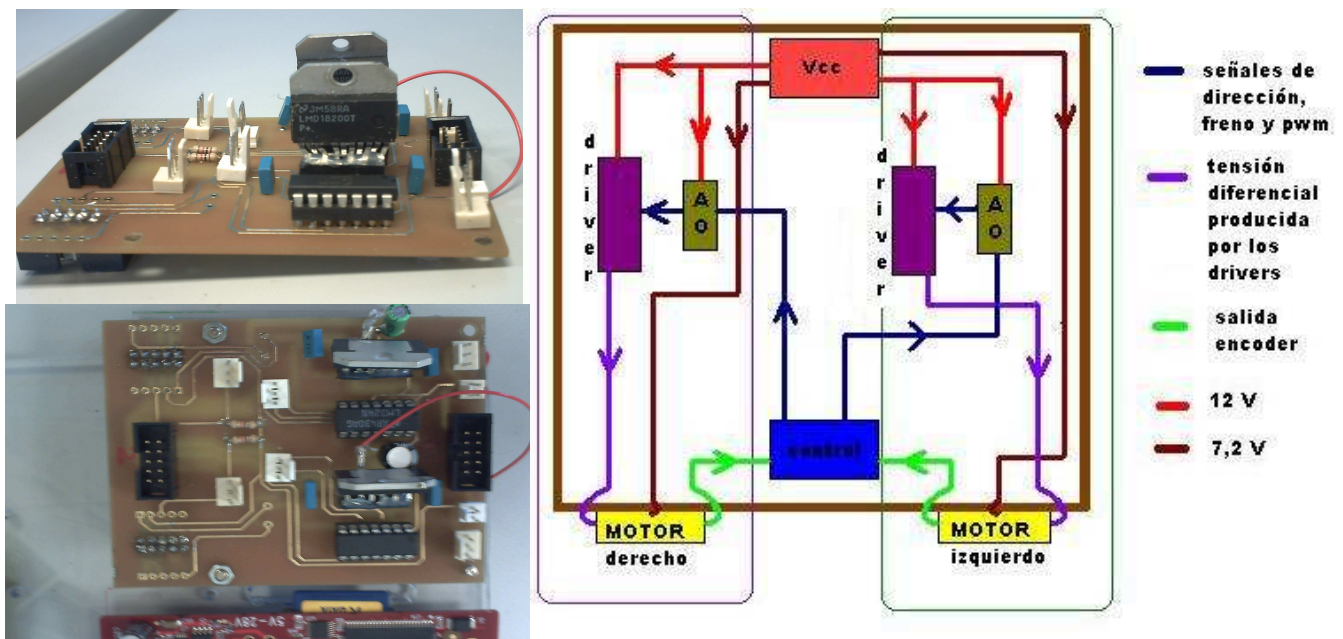


Ilustración 4.2.8: Fotografía y esquema de la placa de motores

CAPÍTULO 5:

ADQUISICIÓN DE DATOS Y ELECTRÓNICA DE CONTROL

5.1 SISTEMA SENSORIAL

Para la adquisición de información tanto exterior como interior del robot se han utilizado 3 tipos de sensores: sensores infrarrojos (GP2D12 y GP2D120), bumpers, y los encoders de los motores, estos últimos se explicarán en el capítulo de sistema locomotor y posicionamiento.

5.1.1 Posición de sensores

La disposición de los sensores infrarrojos y bumpers en el robot se muestra en el esquema siguiente:

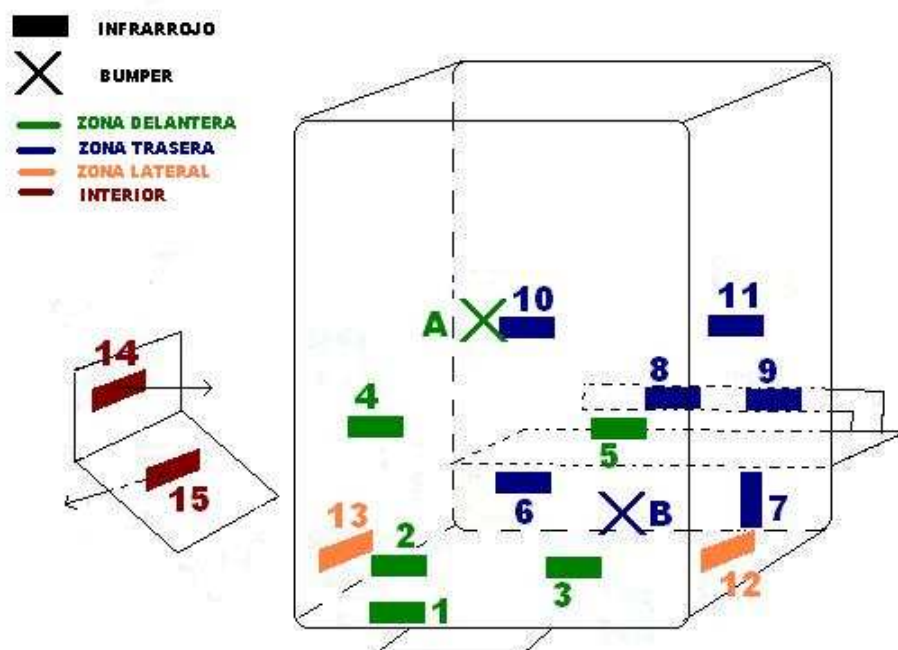


Ilustración 5.1.1: Posición sensores

5.1.2 Bumpers:

Un bumper es un sensor de tipo mecánico que se usa para la detección por contacto directo. Es un conmutador de 2 posiciones con retorno por muelle a la posición de reposo. Tiene una palanca de accionamiento. En nuestro caso los bumpers utilizados son del tipo "normalmente abierto", esto quiere decir, mientras el sensor no esté pulsado, la pletina común permanece conectada a la de reposo, cuando se pulsa, la palanca conecta las pletinas "común" y "activado".

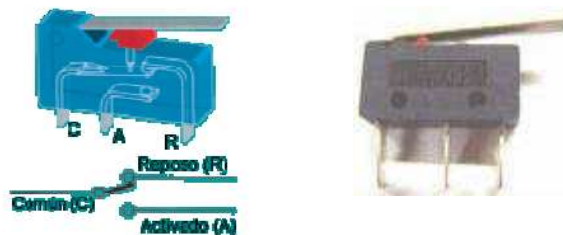


Ilustración 5.1.2: Bumper

Para conocer cuando la plataforma de construcción se encuentra totalmente replegada, es decir, al llegar al final de su recorrido, y el robot puede terminar el proceso de empotrado se ha utilizado el bumper. Se ha colocado en la parte trasera, entre la pared del robot y la lengüeta de la plataforma de construcción, en la posición del bumper B de la ilustración 5.1.1.

El otro bumper se ha colocado en el centro de la parte delantera, en la posición del bumper A de la ilustración 5.1.1, para detectar cuando se ha llegado hasta el dispensador y el robot puede dejar de aproximarse. Para aumentar la zona de contacto se ha colocado una pequeña plancha de aluminio.

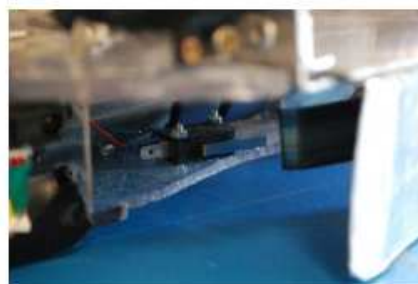


Ilustración 5.1.3: Bumper plataforma

5.1.3 Sensores infrarrojos:

Estos sensores son de los modelos GP2D12 Y GP2D120, la utilización de 2 modelos distintos se debe a la diferencia de rangos de medida necesarios. El alcance de los GP2D12 se encuentra entre 10 y 80 cm, y el de los GP2D120 entre 4 y 30 cm. La tensión de alimentación de los sensores en operación es de entre 4,5 y 5,5 V para ambos modelos, los GP2D12 y los GP2D120. Estos datos se reflejan en las tablas siguientes:



Ilustración 5.1.4: Sensor infrarrojo

GP2D120:

Operating Supply Voltage GP2D120

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNIT
Operating Supply Voltage	V_{CC}	4.5 to 5.5	V

Electro-optical Characteristics GP2D120

$T_a = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{ VDC}$

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	NOTES
Measuring Distance Range	ΔL		4	—	30	cm	1, 2
Output Terminal Voltage	V_O	$L = 30\text{ cm}$	0.25	0.4	0.55	V	1, 2
Output Voltage Difference	ΔV_O	Output change at ΔL (30 cm – 4 cm)	1.95	2.25	2.55	V	1, 2
Average Supply Current	I_{CC}	$L = 30\text{ cm}$	—	33	50	mA	1, 2

Ilustración 5.1.5: Características GP2D120

GP2D12:

■ Specifications

GP2D12

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Rating
Supply voltage	V_{cc}	4.5 to 5.5V
Dissipation current	I_{cc}	MAX.35mA
Measuring range	L	10 to 80cm
Output type	—	Analog output
Operating temperature	T_{opr}	-10 to +60°C

Ilustración 5.1.6: Características GP2D12

El uso de estos sensores según la nomenclatura de la ilustración 5.1 ha sido el siguiente:

- 1 y 2: se utilizan para localizar las piezas situadas en el suelo. Se considera que hay pieza si el sensor 1 detecta pero el 2 no.
- 3: se utiliza en la rutina de dirigirse al dispensador. Cuando el robot ha llegado a la pared del campo contrario, el sensor la detecta y el robot gira hacia el dispensador situado en la pared trasera del campo.
- 4, 5, 10 y 11: son los sensores encargados de detectar al oponente. Se situaron delante y detrás ya que el robot se mueve solo en estas 2 direcciones, pero no en los laterales por el mismo motivo.
- 6 y 7: se utilizan para detectar la zona central de construcción. Para asegurar que no es una pared u otra zona, el robot, antes de dirigirse hacia ella, realiza un giro a derecha y otro a izquierda, en ellos debe dejar de detectar el sensor del lado hacia el que se ha girado.
- 8 y 9: colocados en la barrera de seguridad de la plataforma de construcción, estos sensores sirven para detectar si hay alguna construcción donde se va a construir, de esta manera, el robot no construirá en ese lugar y no destruir el templo o columna ya existente, evitando así la gran penalización de puntos obtenida con dicha acción.
- 12 y 13: esos sensores se utilizan en modo analógico. Durante la rutina de dirigirse al dispensador, para corregir las posibles desviaciones de su trayectoria, se mantiene la misma distancia a la pared correspondiente con el sensor respectivo.
- 14: situado en el interior del robot, cuenta el número de piezas almacenadas. Está dirigido al final de la cinta transportadora, para evitar contar 2 veces una pieza si se deslizara hacia abajo, de este modo, se detecta la pieza en un punto en el que ya no se corre riesgo de que se cuente dos veces.
- 15: situado también en el interior del robot, éste apunta al exterior, a la zona de recogida. Se utiliza para detectar si hay pieza entre las palas de recogida para comenzar dicho proceso.

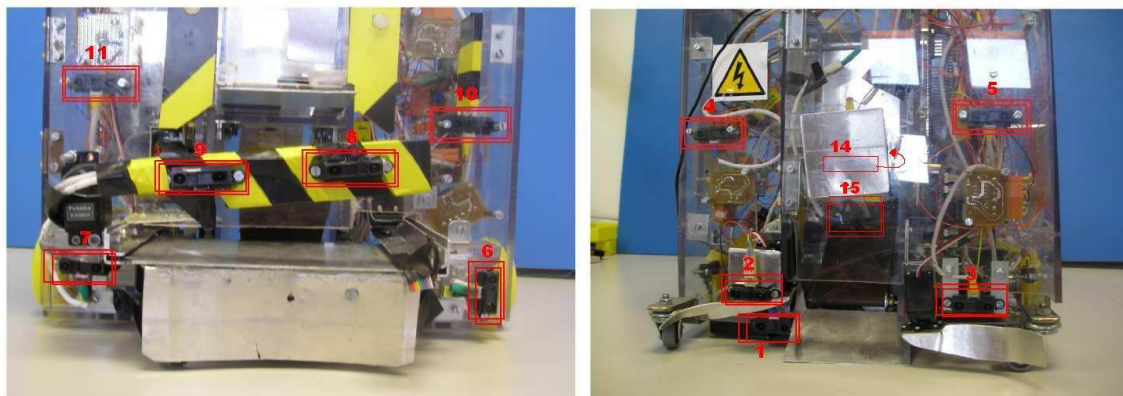
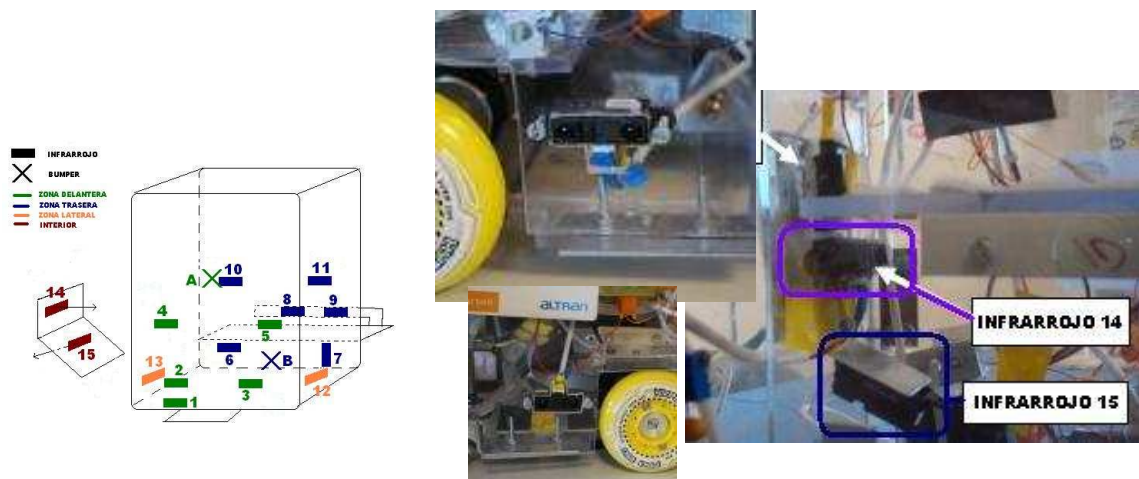


Ilustración 5.1.7: Collage posición sensores infrarrojos

5.1.4 Placa acondicionamiento señal

Se necesita un sistema de acondicionamiento de señal para enviarle la información necesaria al procesador. Se realizaron 2 tipos de placas distintas, una individual y la otra para 4 sensores. Como la distribución de los sensores no es concentrada ni homogénea, y se pretendía que dichas placas estuvieran lo más cerca posible de ellos por simplicidad en el manejo, calibración y localización de posibles problemas en dichos sensores, esta variedad de placas nos permite mayor flexibilidad.

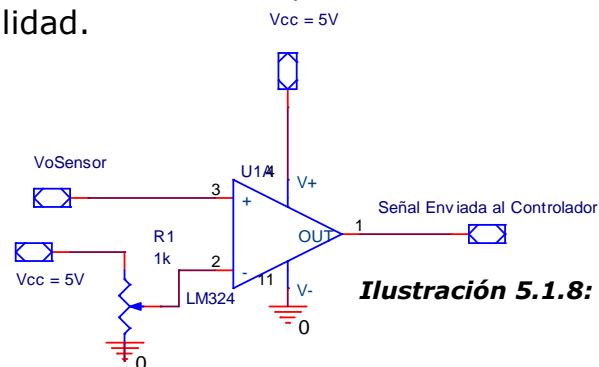


Ilustración 5.1.8: Esquema comparador

El acondicionamiento de estas señales se basa en un comparador implementado con un amplificador operacional. Mediante un potenciómetro se calibra la distancia frontera a la que se quiere que deje de detectar objetos el sensor. Mediante las graficas que se muestran a continuación, se calcularon aproximadamente las tensiones de referencia para cada sensor, pero realizando siempre una posterior calibración. A la vista de la grafica de la ilustración 5.1.9, se ve como para las distintas distancias existe una tensión máxima. Por este motivo se decidió implementar el operacional de manera que no detectase hasta que su tensión no fuera algo menos de la máxima para la distancia deseada; esta tensión máxima se da cuando el sensor se encuentra a dicha distancia exactamente.

Fig.6 Analog Output Voltage vs.Distance to Reflective Object

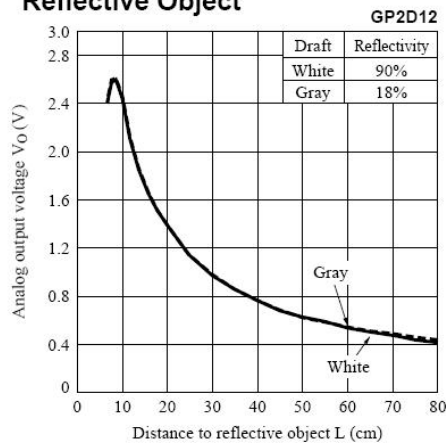
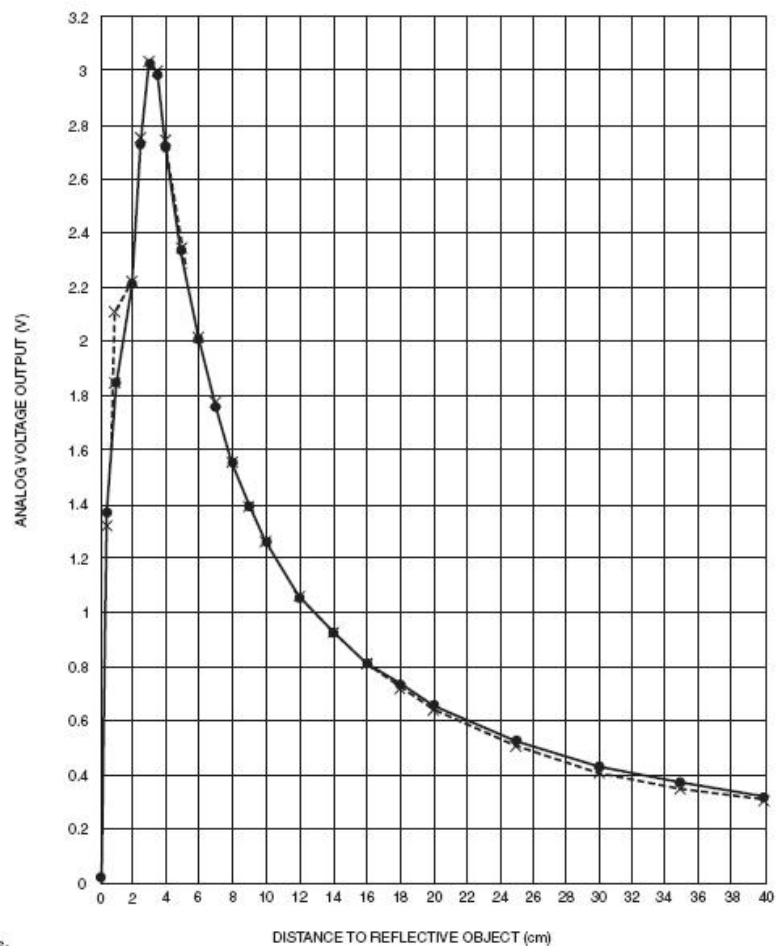
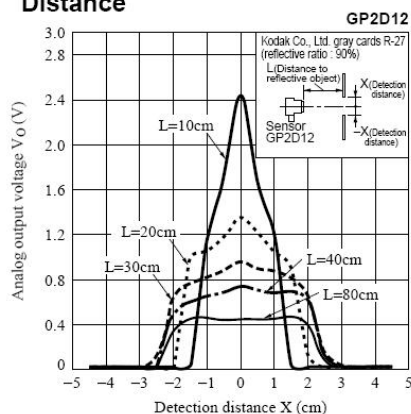


Fig.8 Analog Output Voltage vs.Detection Distance



NOTES:
 ● White paper (90% Reflectance)
 ● Gray paper (18% Reflectance)

GP2D120-8

Ilustración 5.1.9: Gráficas sensores infrarrojos

El circuito integrado de operacionales utilizado es el LM324. Para minimizar costes, espacio y material, en los casos adecuados para ello, se ha utilizado una placa de acondicionamiento para 4 sensores, aprovechando que cada chip contiene 4 operacionales.

Cada placa consta de una entrada de alimentación, otra de tierra y un condensador de desacoplo. 1 LM324, independientemente de que placa sea, ya que este integrado pose 4 operacionales en su interior, de modo que en las placas de sensores múltiples se utilizan todos y en las individuales se utiliza solo uno. Además, cada placa, posee por cada sensor (1 ó 4) 4 puntos de conexión: el de alimentación del sensor, el de conexión a tierra del sensor, el de transferencia de la salida del infrarrojo al circuito de acondicionamiento, estos 3 entre sensor y placa y un último de salida de la señal del sensor, acondicionada, hacia la placa base.

Los conectores que se han utilizado son clemas de tipo ascensor, con un paso de 5,08, de 2 y 3 polos. Los aspectos que han llevado al uso de estos conectores son la sencilla conexión y desconexión, al ser, los sensores, elementos individuales, resultaba mucho más fácil su cambio o comprobación. También la seguridad de la conexión que proporcionan. Además, es el método utilizado para las conexiones de alimentación en la mayor parte del robot.

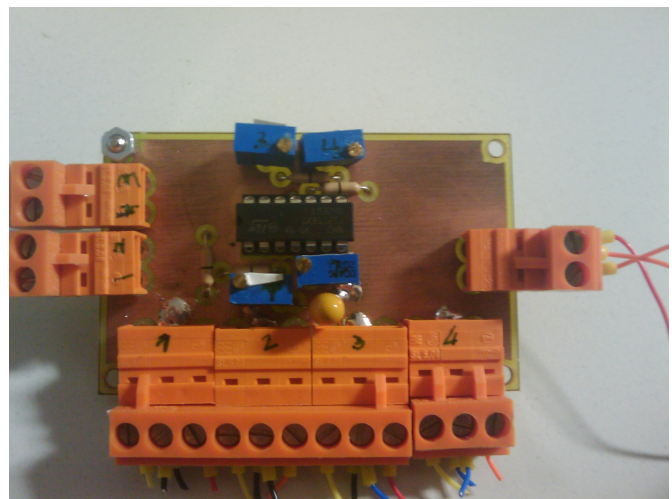
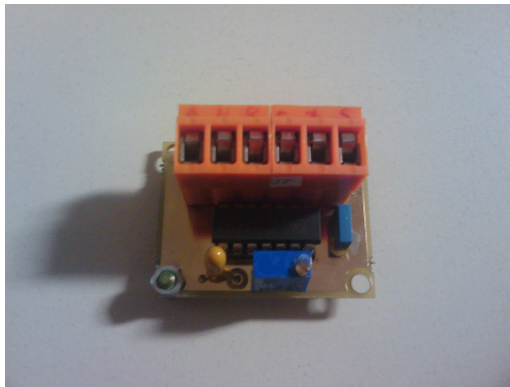


Ilustración 5.1.10: Placas acondicionamiento señal

5.2 CONTROL

Para el control del microrobot se ha optado por la utilización de una placa base de robótica modelo TS-7350 LCD-Ready Linux FPGA SBC que se encarga del control general y coordinación de los sistemas, así como de recibir ciertas señales. Además, para el envío de órdenes y control de motores y servomotores, se ha utilizado un microprocesador 8052 modelo DS89C450 proporcionado por Dallas Semiconductor. La elección de este microprocesador se debe a su gran robustez y fiabilidad.

5.2.1 Placa base

Algunas de las características de la placa base son las siguientes:

- CPU ARM9 a 200MHz
- Un conector PC-104 que consiste en 64 pines en 2 filas, A y B.
- SDRAM de 32MB
- 1 ranura de tarjeta de memoria tipo SD
- 2 USB 2.0
- Tensión de entrada entre 5 y 28 voltios de continua
- 4 convertidores analógico-digital de 12 bits
- Sistema operativo compatible, Linux.

Dispone de 3 leds para mostrar el estado de la placa. Uno rojo, uno verde y otro amarillo. El led verde se ilumina al encenderse y permanece así por defecto. El led rojo y el verde se controlan por el puerto E GPIO de la CPU. La programación del microcontrolador se realiza a través de un conector DB9. [20] [21]

A esta placa están conectadas las salidas de todos los sensores infrarrojos y bumpers, así como la señal de la anilla de puesta en marcha y la señal del botón de selección de color. A partir de estos datos, envía las instrucciones para la realización de las diferentes rutinas tanto de motores como de servomotores al microprocesador, que se encarga de controlar las acciones de éstos para que se realicen dichas rutinas. La conexión entre ambas placas se realiza a través del conector DB9.

Está alimentada a 12 voltios mediante unos cables independientes, directos a la batería, con un interruptor para permitir el uso aislado de dicha placa y/o el resto de sistemas.

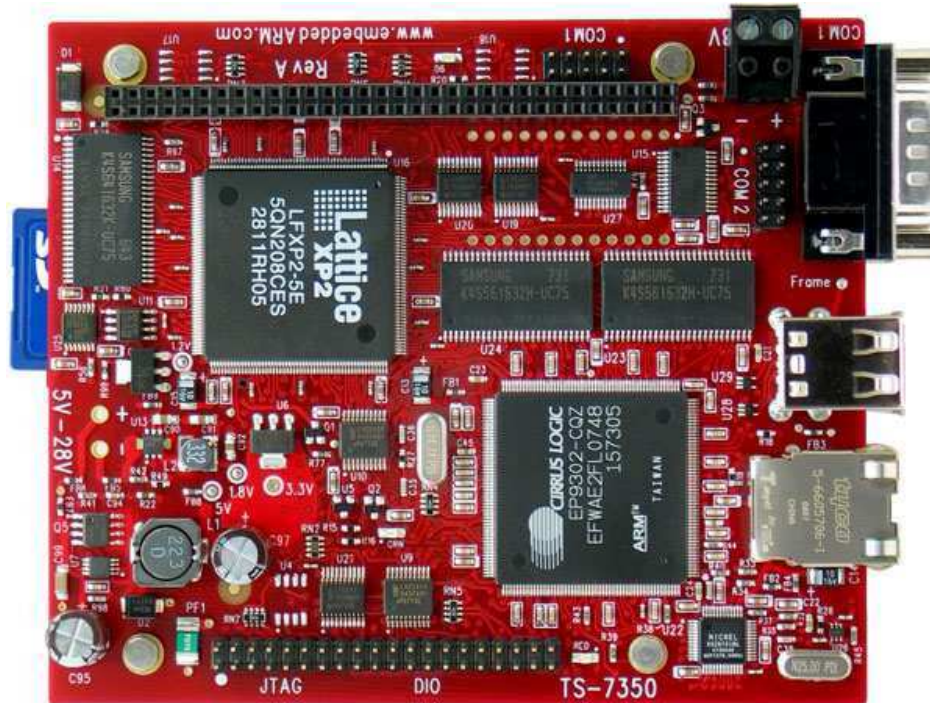


Ilustración 5.2.1: Placa base

5.2.2 Microprocesador 8052

El microprocesador utilizado es el 8052 modelo DS89C450 fabricado por Dallas Semiconductor esta desarrollado con una arquitectura 8051 de alta velocidad, que le permite ejecutar instrucciones hasta 12 veces más rápido que un microcontrolador con arquitectura 8051 tradicional, llegando a alcanzar velocidades de reloj de hasta 33MHz.

Este modelo posee 64kB de memoria Flash divididos en dos módulos de 32kB utilizados para memoria de programa. Además cuenta con 1kB de memoria SRAM que puede ser utilizada como memoria de datos. Esta cantidad de memoria es más que suficiente para incluir en el microcontrolador toda la estrategia y el control necesario para desarrollar la prueba. [19]

Esta dotado de 4 puertos bidireccionales de Entrada/Salida de 8 bits cada uno, 3 timers de 16 bits, 2 puertos serie Full-Duplex, 1 timer Watchdog programable, 13 fuentes de interrupción (6 de las cuales son externas) y 5 niveles de prioridad de interrupción. Además posee una programación de tipo "In-System" que se realizará a través del puerto serie.

El microcontrolador se suministra en un encapsulado del tipo PDIP de 40 pines. La distribución de su patillaje es la mostrada en la siguiente figura:

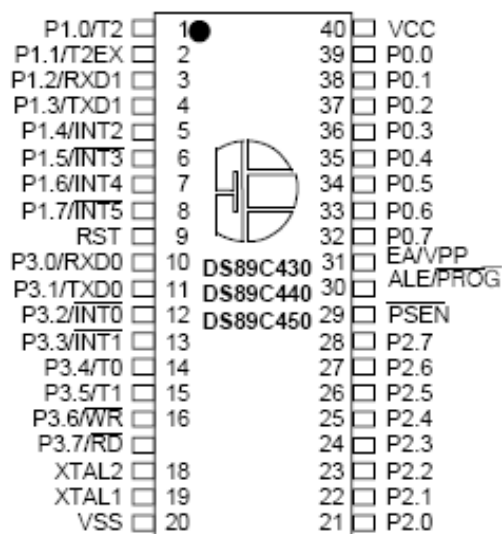


Ilustración 5.2.2: Patillaje 8052

Para el uso del 8052 se ha utilizado una placa diseñada el año anterior para el Eurobot 2008. Esta placa consta de una gran versatilidad debido a la conexión a sus puertos tanto por conector IDC, como por conectores molex. Esto es importante ya que a dichos puertos van conectados tanto las señales de control de los servomotores como las de los motores. Los servomotores se conectan mediante molex por el fácil recambio de los componentes conectados a ellos. Las señales de control de los motores se conectan por un conector IDC de 34 pines, esta conexión es positiva ya que simplifica la cantidad de cables, no solo lleva las conexiones de control, sino también la alimentación y la toma de tierra.

La programación del microcontrolador se realiza a través de un conector DB9. Para poder realizarla se necesita implementar un hardware muy sencillo que consistirá, básicamente, en incluir un conversor de niveles RS232 a TTL y un par de buffers triestado con el siguiente conexionado:

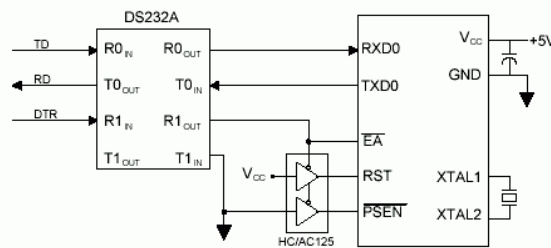


Ilustración 5.2.3: Esquema conversor RS232 TTL

El conversor utilizado es un MAX232. Este conversor necesitará el siguiente acondicionamiento para su correcto funcionamiento:

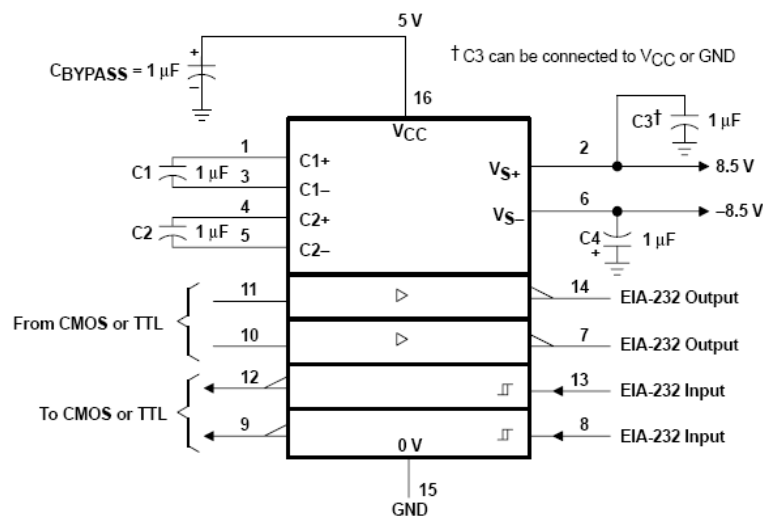
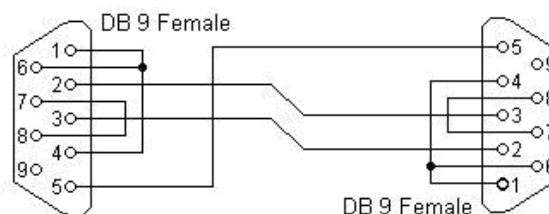


Ilustración 5.2.4: Acondicionamiento MAX32

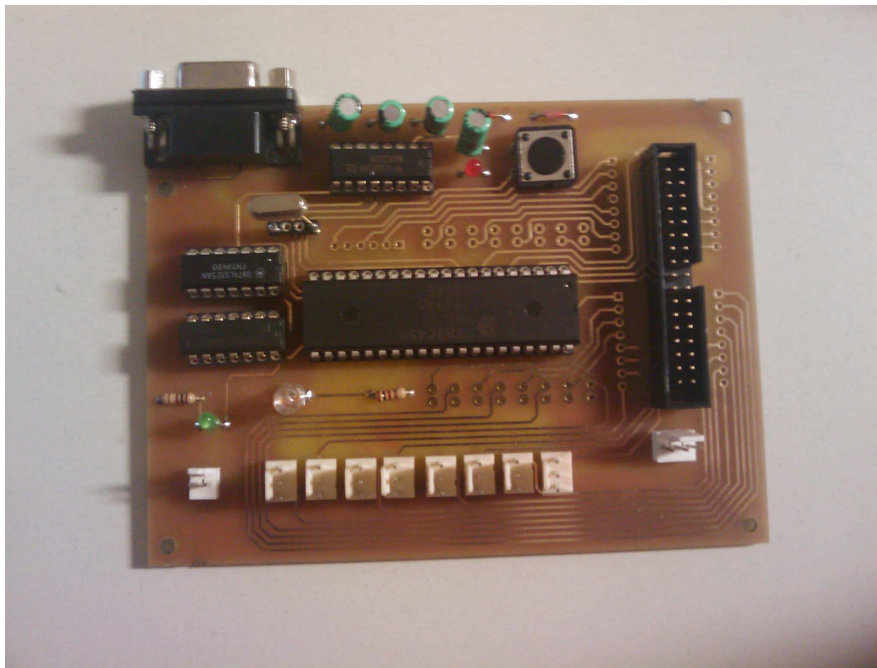
El cambio de modo programación a modo comunicación se realizará a través de la señal DRT. Al usar esta señal para cambiar de un modo a otro, el único modo de comunicación posible que soportará este circuito será el Null-Modem. El conexionado necesario para realizar esta comunicación será el mostrado a continuación:



	Conector 1	Conector 2	Función	
TD (Transmit Data)				
RD (Receive Data)	1,4,6		DTR, CD, DSR	
RTS (Request To Send)		1,4,6		DTR, CD, DSR
CTS (Clear To Send)	2	3	RX	TX
SG (Signal Ground)	3	2	TX	RX
DSR (Data Set Ready)	5	5	GND	GND
DTR (Data Terminal Ready)	7,8		RTS, CTS	
CD (Carrier Detect)		7,8		RTS, CTS

Ilustración 5.2.5: Conexiónado Null-Modem

Por último, se equipó a la placa de un botón de reset y se le añadieron una serie de leds para comprobar su buen funcionamiento en todo momento. Uno de esos leds se encargara de informar sobre la alimentación de la placa, otro vigilará el buen funcionamiento del convertor MAX232 y un último led bicolor nos informará de si la placa se encuentra en modo programación o en modo comunicación. [1]
[2]

**Ilustración 5.2.6: Placa microprocesador 8052**



CAPÍTULO 6:

ALIMENTACIÓN Y CONEXION

6.1 ALIMENTACIÓN

Por las dimensiones, peso, tensión y potencia suministrada y el buen resultado del año anterior, en un primer momento se optó por una batería de 12 voltios de continua y 4 A/h de la marca Yuasa. Por problemas en el consumo de potencia, al final se utilizó una batería de la misma marca, Yuasa, de 12 voltios también, pero de 5 A/h.

Los requerimientos de alimentación consistían en:

- La alimentación de los motores a 12 voltios y un consumo de 5,4 A de corriente de pico y 1,2 A de corriente nominal.
- La alimentación del motor de la cinta transportadora de 7,2 voltios.
- La alimentación necesaria para los encoders se encuentra entre 6 y 24 Vcc. Por lo que se optó por alimentarlos también a 7,2 voltios y así no incrementar el número de placas de potencia, debido a las restricciones de tamaño del robot y para no incrementar el número de fuentes de posibles fallos.
- El microprocesador 8052 requiere una alimentación de 5 voltios continuos constantes.
- La placa base, alimentada a 12 V, generaba un consumo de 1,5 A aproximadamente.

6.1.1 Batería

Las dimensiones de longitud, ancho y altura de la batería utilizada son 90 mm X 70 mm X 106 mm. El peso es de aproximadamente 2 Kg.

		CAPACIDAD											
	TIPO DE BATERIA	VOLTAJE NOMINAL (V)	20h (Ah)*	10h (Ah)*	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto incl. Terminales (mm)	Peso (kg)	Esquema	Terminales	Corriente Máxima	Máxima Corriente en 1 min (A)	Impedancia Interna** en 1 seg (A)
H	NPH5-12	12	5,2	5	90	70	106	2	1	C	40	150	18

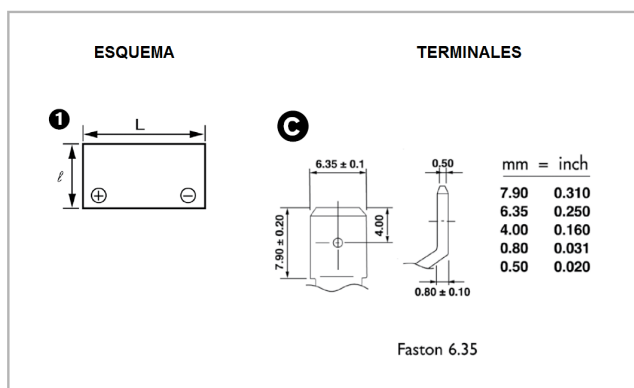


Ilustración 6.1.1: Batería y características

6.1.2 Placas de potencia

Por todo esto, se diseñaron e implementaron 2 convertidores continua-continua a las tensiones requeridas de 5 y 7,2 voltio. Para ello se utilizó el regulador 2599 de National Semiconductor. Se planteó el uso de los reguladores de tensión lineales como el 7805 por su simplicidad de conexionado. Estos reguladores son dispositivos que se encargan de reducir el nivel de tensión de salida a valores fijos independientemente de la carga que se les conecte. Los reguladores de tensión lineales tienen como ventaja que el circuito de acondicionamiento es mínimo, ya que solo necesitan un par de condensadores, pero debido a que la tensión eliminada se disipa en forma de calor tendrán un rendimiento bastante bajo y unos consumos elevados, lo que conlleva una pérdida de autonomía del robot.

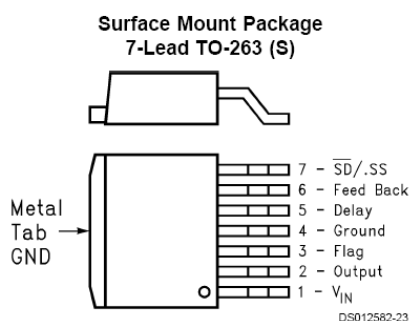


Ilustración 6.1.2: Patillaje LM2599

Por ello se decidió utilizar circuitos reductores (Buck) mediante el uso del regulador 2599S. Este componente permite implementar convertidores con tensiones de entrada de hasta 40 Vcc y valores de salida que van desde 1,2 hasta 37 Vcc. Además proporciona 3 A de corriente máxima y unos rendimientos muy altos a su salida.

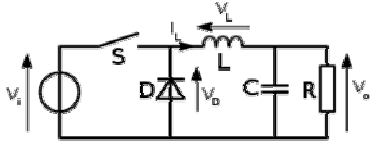


Ilustración 6.1.3: Esquema convertidor Buck

6.1.2.1 Placa de 5V

La placa de potencia de 5 voltios se diseño mediante el circuito concreto para la conversión de 12 a 5 V de la hoja de características.

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)

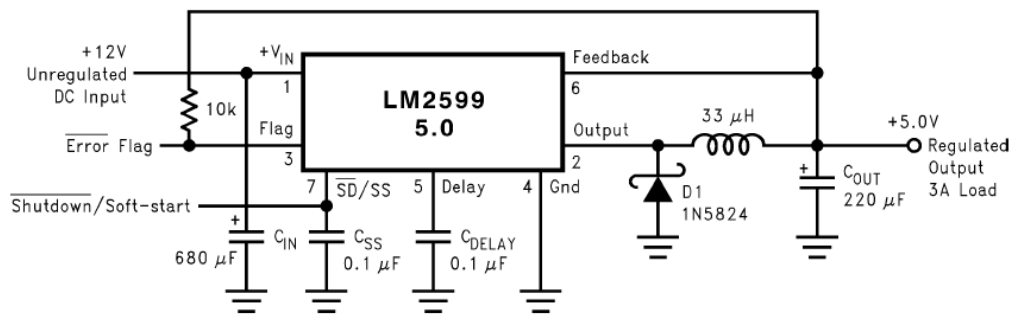
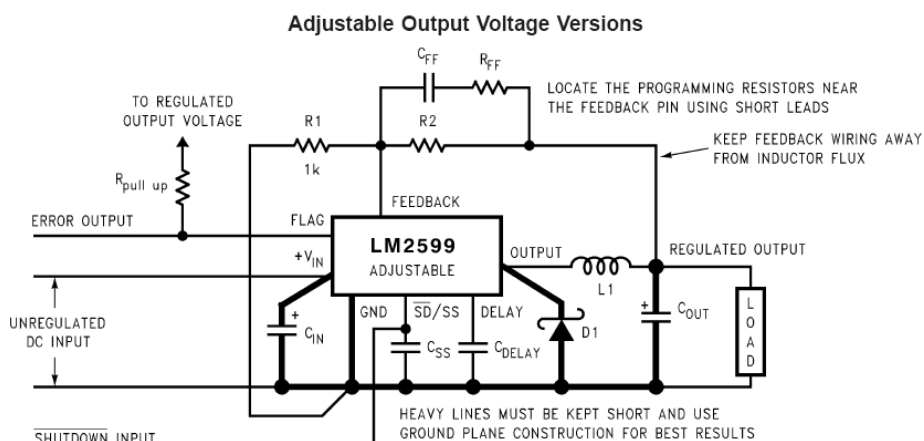


Ilustración 6.1.4: Diseño convertidor 5 V

DS012582-1

6.1.2.2 Placa de 7,2V

Para el diseño de la placa de potencia de 7,2 V se utilizó el circuito de las hojas de características para convertidores de tensión de salida ajustable y las instrucciones para su realización.



DS012582-25

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 k Ω , use a 1% resistor for best stability.

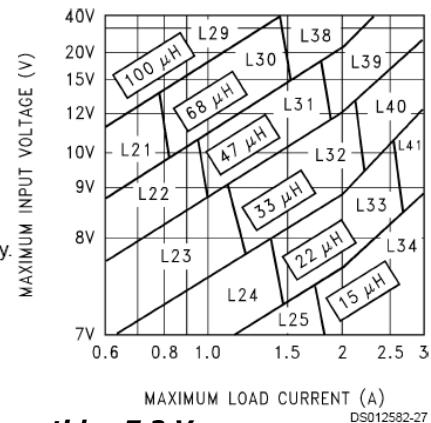


Ilustración 6.1.5: Diseño convertidor 7,2 V

Para la alimentación de estas placas y las alimentadas a través de ellas, se han utilizado clemas, por la fácil conexión y desconexión de sus componentes, además de la fácil adición y eliminación de elementos alimentados y conectados a ellas.

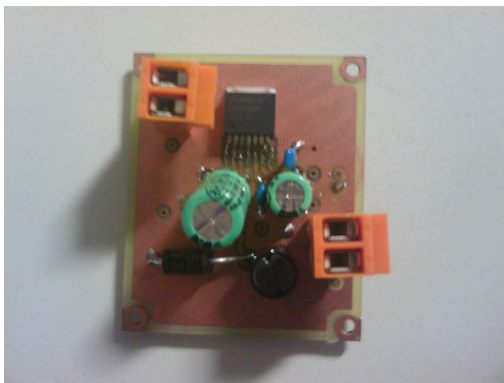


Ilustración 6.1.6: Placa de 5 V

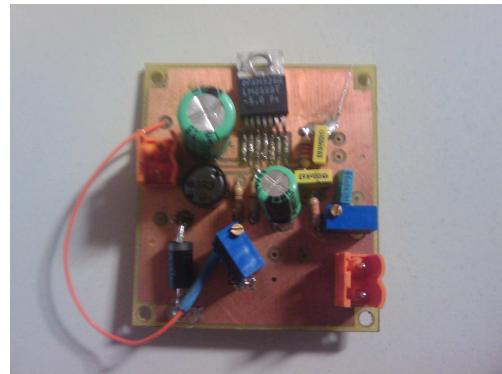


Ilustración 6.1.7: Placa de 7,2 V

Por normativa, el robot debe llevar un interruptor de emergencia tipo "seta", este va colocado entre la batería y el resto del circuito. La batería se conecta mediante un conector moles de 2 pines. Para cambiar entre las rutinas según se sea de un equipo u otro, lleva un interruptor conectado a la placa base de selección de color.

También por normativa, el robot lleva instalada, para su puesta en funcionamiento, una anilla de inicio, implementada mediante 2 pines y un jumper; ésta, cuando se retira el jumper, deja de tener conectados su pin unido a la placa base y su pin unido a tierra, dejando de transmitir a la placa base un cero lógico, señal para que el robot comience su rutina de ejecución.

6.2 INTERCONEXIONADO DE PLACAS Y OTROS ELEMENTOS

La conexión de todos los sistemas hardware se ha realizado mediante una placa intermedia, una placa de adaptación, cables planos, conectores IDC, cables y conectores USB, cables unifilamentales, clemas y conectores molex.

Los cables planos se han utilizado para la conexión de la placa del microcontrolador y la placa de drivers de los motores. De esta manera, se tiene un conexionado más compacto y sencillo, ya que tanto las señales como la alimentación van por el mismo conector. El único inconveniente se encuentra a la hora de cambiar las señales de un puerto a otro del micro (en la placa de motores no es necesario ni se hará ningún cambio de conexión), ya que habría que desoldar el cable que lleva la señal del pin correspondiente la placa intermedia y volver a soldarlo al nuevo.

Los USB son los de los ratones ópticos del sistema de odometría, y van directos a la placa base. La placa de unión se utiliza para conectar todas las señales que van a la placa base como si su unión fuera un solo conector, en vez de señal por señal, ya que, de esta manera, la conexión es mucho más segura, porque evita errores de conexión y posibles desconexiones de los cables.

Los cables unifilamentales y las clemas, se han destinado a las conexiones de alimentación, ya que permiten más conexiones en menos espacio y la adición, cambio o eliminación de esta alimentación a cada elemento por separado de forma simple. También se han utilizado para la conexión de los sensores infrarrojos por su simplicidad, ya que cada sensor se conecta a una placa de acondicionamiento, que están distribuidas por todo el robot. Pero en este caso, los 3 cables de cada sensor se han unido mediante un canutillo.

Los conectores molex se han utilizado para la conexión de los servomotores, ya que los servos disponen de 3 cables y todos, aunque estén distribuidos por el robot, se conectan a la placa del micro 8052. El fácil intercambio, la sujeción de estos conectores y su formato de 3 pines, los hacen óptimos para estas conexiones.

Las diferentes conexiones de cada placa son las siguientes:

6.2.1 Placas de potencia:

- 1 entrada mediante clema, la alimentación de 12 V, que proviene de la batería.
- 1 salida también mediante clema, la tensión resultado de la conversión (5 y 7,2 V respectivamente), a la cual se conecta la placa intermedia que distribuye estas tensiones a las placas necesarias. Además, puede ir conectada alguna placa de acondicionamiento de señal, dependiendo de cual sea la placa mas cercana (si la de potencia o la intermedia) según su posición dentro del robot.

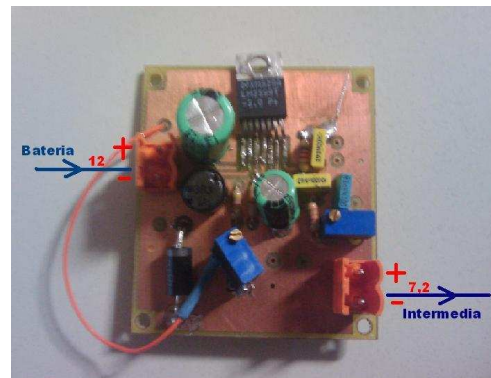
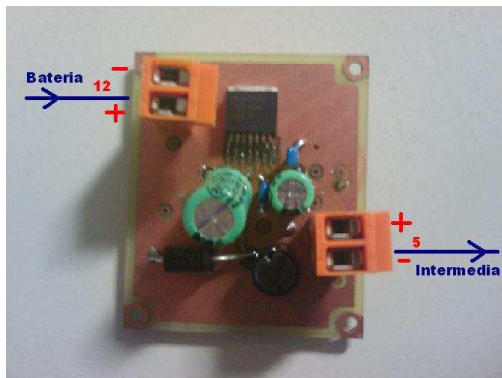
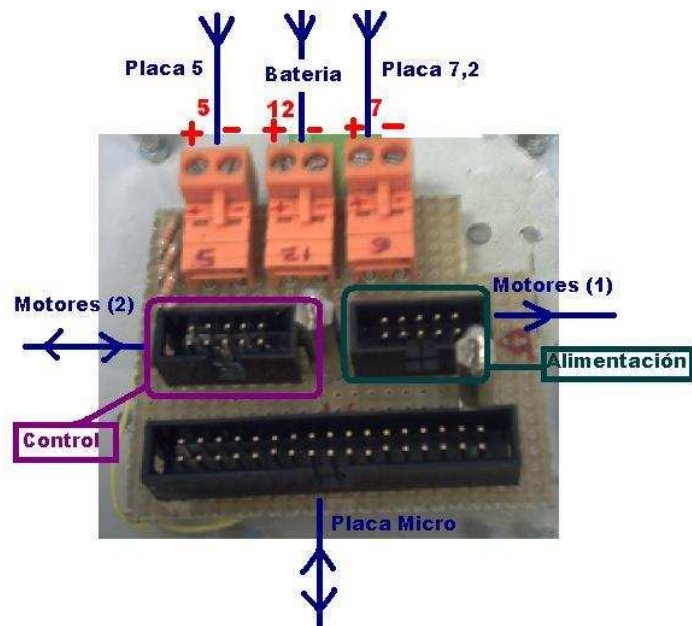


Ilustración 6.2.1: Esquema conexionado placas potencia

6.2.2 Placa intermedia:

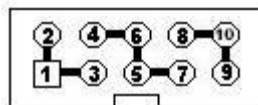
Dispone de 2 clemas, una para cada tensión de alimentación (5, 7,2 y 12 V), un conector IDC de 34 pines para la conexión con la palca del microcontrolador y 2 conectores IDC de 10 pines cada uno que sirven de alimentación y de control a la placa de motores. Además dispone de 4 resistencias de pull-up para las señales de dirección y pwm de cada motor en su conexión al micro (para las señales de freno no se tienen resistencias ya que están conectadas a '0').

Esta placa hace posible el conexionado mediante cables planos, transformando la disposición de salida de las señales de la placa del micro en la disposición de entrada de estas señales en la placa de motores.

**Ilustración 6.2.2: Esquema conexionado placa intermedia**

Los conectores tiene la siguiente distribución de señales:

Alimentación [Motores (1)]



Pin	Señal
1, 2 y 3	12 Vcc
4, 5, 6 y 7	'0'
8, 9 y 10	7,2 Vcc

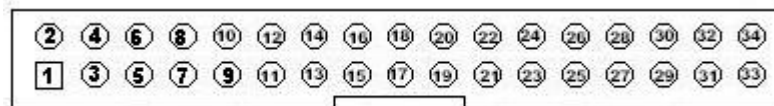
Ilustración 6.2.3: Conector alimentación de la placa intermedia

Control [Motores (2)]



Pin	Señal
1	Dirección drch.
2	Dirección izq.
3	PWM drch.
4	PWM izq.
5	'0' (Freno drch.)
6	'0' (Freno izq.)
7	Salida encoder drch.
8	Salida encoder izq.
9 y 10	'0'

Ilustración 6.2.4: Conector control de la placa intermedia



Pin	Señal
1	5 Vcc
2	'0'
11	Dirección izq.
12	Dirección drch.
13	PWM izq.
14	PWM drch.
23	Salida encoder drch.
24	Salida encoder izq.

Ilustración 6.2.5: Conector a micro de la placa intermedia

6.2.3 Placa base:

- 1 clema para su alimentación.
- 1 conector DB9 para su conexión con la placa del microcontrolador. Además, este conector, sirve para su programación cuando el robot no está en funcionamiento.
- 2 conectores USB para la conexión de los ratones ópticos del sistema de odometría.
- 1 conector PC-104 que consiste en 64 pines, al que se le conecta el conector realizado mediante la placa de adaptación. Por él se hacen llegar las señales de todos los sensores infrarrojos y bumpers, además de las señales de la anilla y el selector de color.

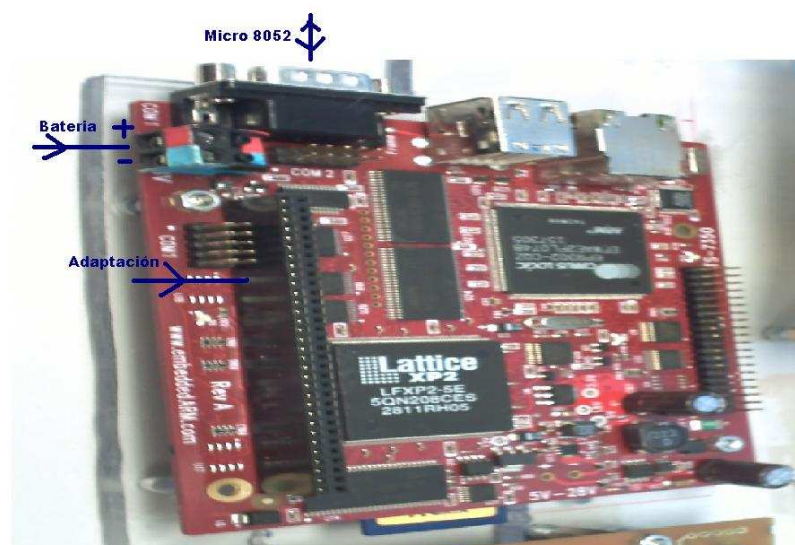


Ilustración 6.2.6: Esquema conexionado placa base

A	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Pin placa base	Señal
A1	Anilla
A2	Selector color
A3	Bumper Bandeja
A4	Bumper Dispensador
A5	Sensor 14
A6	Sensor 15
A7	Sensor 2
A18	Sensor 5
A19	Sensor 3
A20	Sensor 12
A21	Sensor 8
A22	Sensor 6
A23	Sensor 9
A24	Sensor 4
A25	Sensor 1
A28	Sensor 11
A29	Sensor 10
A30	Sensor 13
A31	Sensor 7

Ilustración 6.2.7: Conector PC-104

6.2.4 Placa del microcontrolador 8052:

Se utilizan las siguientes conexiones:

- Conector DB9, con él se conecta a la placa base y cuando el robot no está en funcionamiento sirve para transmitir la programación al micro.
- Dispone de 8 conectores moles de 3 pines, de los que se utilizan 5, para la conexión de los servomotores. Por ellos se le transmite a los servos la señal de control y la alimentación.
- Conector IDC de 34 pines, conectado a la placa intermedia, permite la recepción de alimentación y de las señales de los encoders y transmisión de las señales de dirección y pwm de los motores.

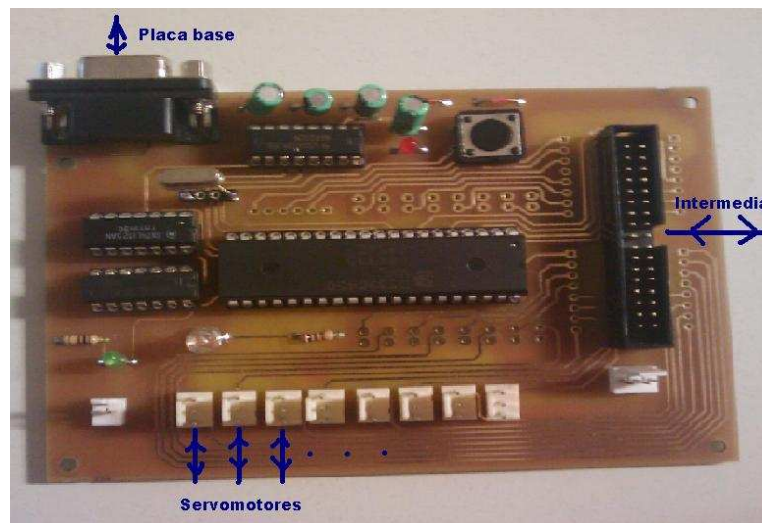
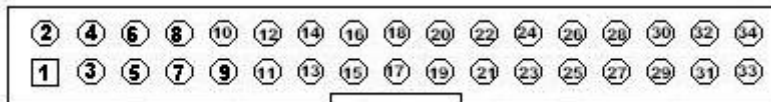


Ilustración 6.2.8: Esquema conexión placa 8052



Pin	Puerto
1	5 Vcc
2	'0'
11	P0.0 (39)
12	P0.1 (38)
13	P0.2 (37)
14	P0.3 (36)
23	P1.3 (4)
24	P1.4 (5)

Ilustración 6.2.9: conector IDC placa micro

6.2.5 Placas de acondicionamiento de señal:

- 1 clema de alimentación.
- 1 polo de clema por cada sensor, conectado a la placa base, es la salida del circuito de acondicionamiento de la señal medida por cada sensor.
- 3 polos de clema (en general 1 clema de 3 polos) por cada sensor, a ella se le conectan los 3 cables del sensor, la alimentación, la tierra y la señal medida por el sensor.

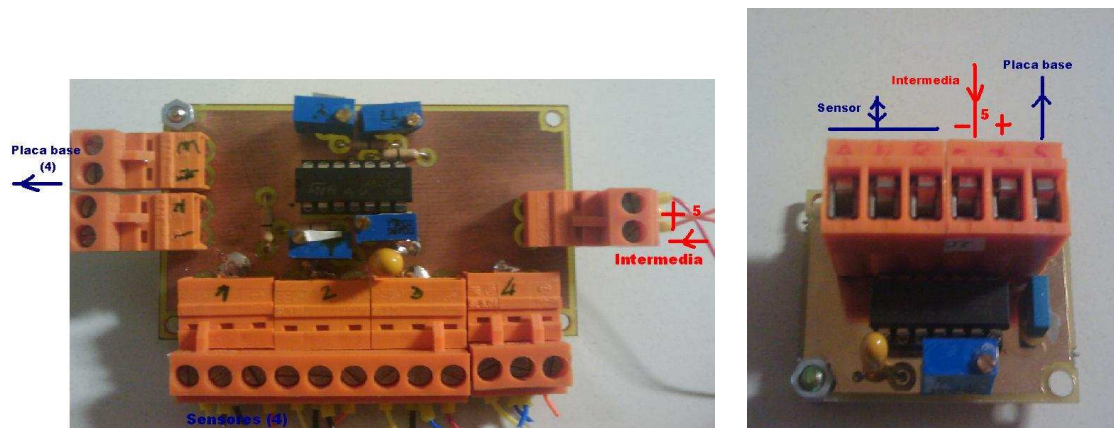


Ilustración 6.2.10: Esquema conexonado placas acondicionamiento

6.2.6 Placa de control de motores:

Su conexión se realiza mediante 4 conectores IDC de 10 pines.

- Conector de alimentación, lleva los 7,2 V, los 12 V y la tierra.
- Conector de control, lleva las señales de dirección, pwm y freno (si se utilizara) de ambos motores y encoders, además de ser salida de las señales de los encoders.
- 2 conectores a los motores, 1 por cada uno, llevan la alimentación del encoder, la señal de dirección, la de pwm y la de freno y sirve de salida a la señal de medida del encoder al que va conectado.

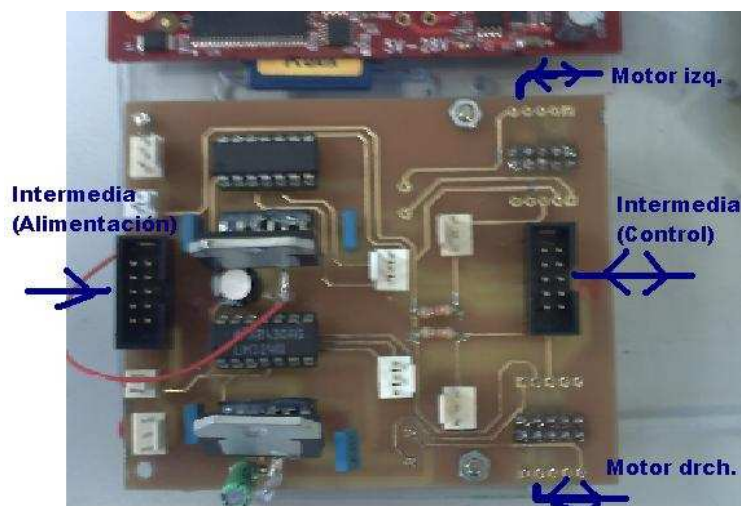
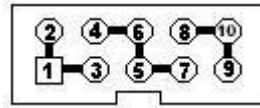


Ilustración 6.2.11: Esquema conexonado placa control motores

Alimentación



Pin	Señal
1, 2 y 3	12 Vcc
4, 5, 6 y 7	'0'
8, 9 y 10	7,2 Vcc

Ilustración 6.2.12: Conector de alimentación de la placa de motores

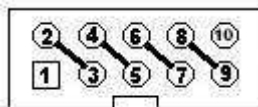
Control



Pin	Señal
1	Dirección drch.
2	Dirección izq.
3	PWM drch.
4	PWM izq.
5	'0' (Freno drch.)
6	'0' (Freno izq.)
7	Salida encoder drch.
8	Salida encoder izq.
9 y 10	'0'

Ilustración 6.2.13: Conector de control de la placa de motores

Motor y encoder (igual para los 2 conjuntos motor-encoder)



Pin	Señal
1	M2 (Out 2 driver)
2 y 3	'0'
4 y 5	02
6 y 7	01(señal encoder)
8 y 9	7,2 Vcc
10	M1 (Out 1 driver)

Ilustración 6.2.14: Conector motor/encoder-drivers

6.2.7 Conexión general

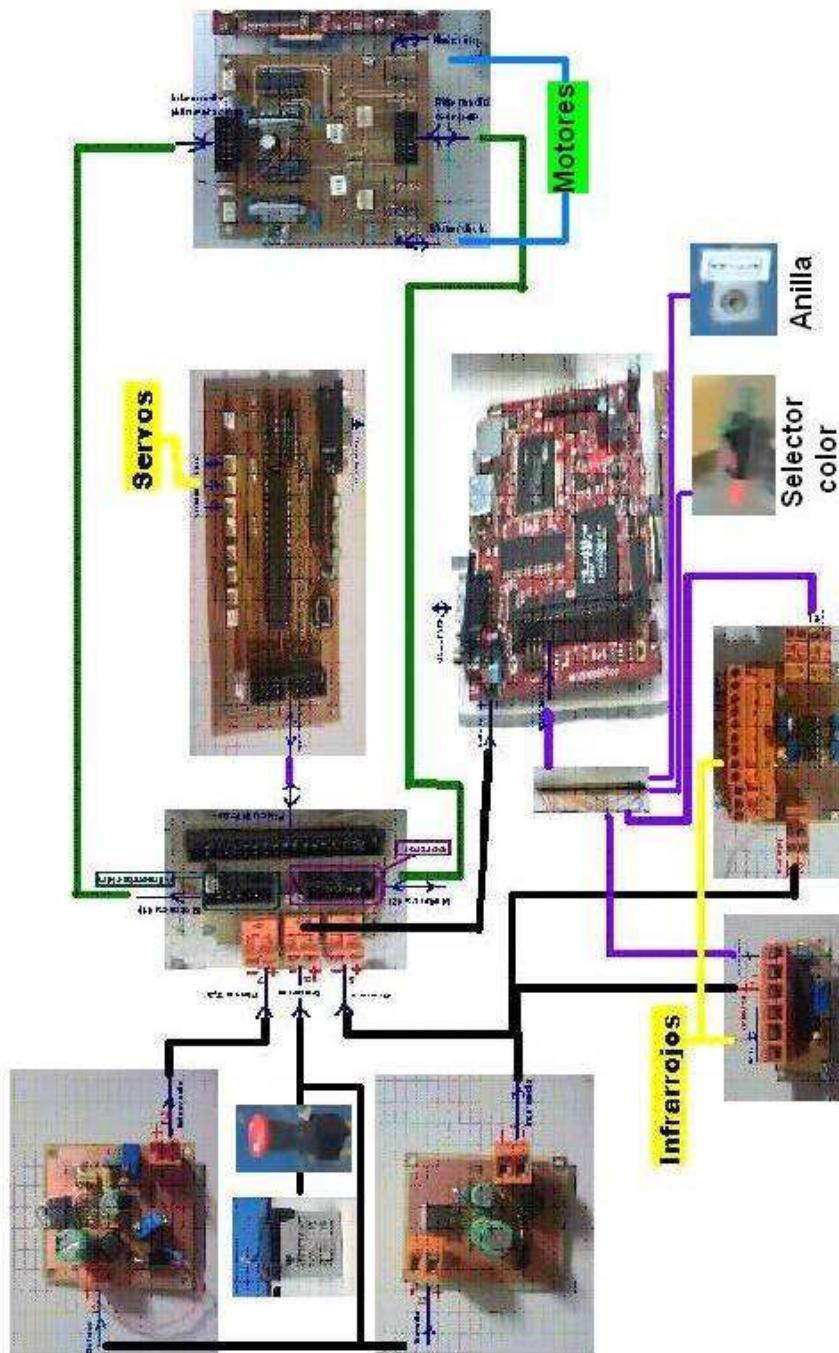


Ilustración 6.2.15: Esquema general de conexionado



CAPÍTULO 7:

CONCLUSIONES Y MEJORAS

7.1: CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto era el diseño y puesta en marcha de un microrobot para su participación en la competición Eurobot 2009 (Templos de Atlantis). Se trataba de construir un sistema totalmente autónomo, capaz de moverse por el campo de juego, encontrar las piezas en él distribuidas y recogerlas y manipularlas para realizar construcciones (templos de Atlantis) con el objeto de conseguir la mejor puntuación.

En cuanto a la estrategia de acciones en el campo, posiblemente, se optó por la mejor de ellas. Tras el análisis de las escogidas por el resto de equipos se comprobó que la adecuada realización de la que se había seleccionado era la que más puntos otorgaba en el menor tiempo y con mejores dificultades. No sin motivo, esta estrategia, o variantes de ella, era la utilizada por la mayoría de equipos.

En cuanto al sistema locomotriz, se consiguió un desplazamiento rápido y con gran capacidad de giro y un buen agarre al terreno. Aunque, debido al continuo funcionamiento y las constantes vibraciones, con el transcurso de las pruebas se aflojaban de su eje, lo que provocaba una desviación considerable de la trayectoria. La solución adoptada para este problema era sencilla, controlar la tortillería y revisar las uniones de forma periódica.

El sistema de manipulación de piezas es, sin duda, la parte más problemática, al no ser especialmente rápido y las dificultades de ajuste de sus componentes. En especial, para el ajuste de los ejes de la cinta transportadora se necesitó demasiado tiempo para los resultados obtenidos. Además, al no disponer de los medios necesarios para realizar correctamente esta calibración, se han dispuesto pequeños correctores a modo de guía para salvar la pequeña desviación que sufría inicialmente la cinta.

El sistema sensorial ha dado unos buenos resultados. Aunque, con un mayor presupuesto, se podrían utilizar sensores de mayor precisión, mejorando los resultados.

En cuanto al sistema electrónico, en general, se han cumplido las expectativas, pero han surgido algunos problemas que podrían mejorarse, derivados del consumo de potencia por la utilización de una placa base industrial. Aunque compensa con creces su uso, por la rapidez y eficacia en el manejo de los datos.

Finalmente se ha construido un robot completamente autónomo el cual ha superado la prueba nacional quedando en segundo lugar tras realizar una clasificación final muy ajustada. Después de esta competición, se ha participado en la prueba europea celebrada en Francia en la que se obtuvo el puesto 36 de entre más de 80 equipos.

7.2 MEJORAS

Existen varias mejoras que podrían aplicarse a este proyecto de las cuales podríamos destacar el desarrollo de un sistema de construcción capaz de edificar en cualquiera de las zonas de edificación de forma segura, esto se podría conseguir con una plataforma donde se pudiera construir el templo y elevarlo mediante un sistema de tornillos sin fin.

Así mismo, también podría construirse un sistema capaz de realizar edificaciones mas elevadas mediante un mecanismo de brazos articulados que cogieran las piezas bien por acción neumática o por unas pinzas mecánicas, y las subiera hasta la altura que fuera necesaria.

Una mejora sustancial seria la de un sistema de localización mediante balizas por triangulación, propio del ámbito de las telecomunicaciones.

Los problemas de potencia, residen en que se consumía muy rápido la batería y en muy poco tiempo la tensión proporcionada era inferior a 12 V, lo que provocaba que el robot se moviera más lento o incluso dejara de hacerlo. Ya que la tensión nominal mínima de funcionamiento de los motores locomotrices es de 12V. Para resolver este problema, se podría utilizar una batería de 18 V, y para no modificar todo el sistema electrónico, utilizar otra placa de potencia, de 18 a 12 Vcc.

CAPÍTULO 8:

PRESUPUESTO

8.1 COSTES DE MATERIAL

8.1.1 Estructura

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Lámina de policarbonato extruido transparente, 5mm de espesor	2 m ²	85,6	171,2
Ángulo de aluminio 3mm de espesor (250mm x 250mm)	1m	5,1	5,1
Bisagra de aluminio de 1 y 3/4"	7ud	0,18	1,26
Material de ferretería	1ud	30	30
TOTAL ESTRUCTURA			207,56

Ilustración 8.1: Costes de la estructura

8.1.2 Sistema de construcción

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Servomotor Futaba S-3003 Standard	6ud	10,79	64,74
Motor reductor de corriente continua 12V 200 r.p.m.	1ud	29,46	29,46
Plancha de aluminio de 1,5mm de espesor	2m ²	80,25	160,5
Cinta de caucho (70mm x 2mm)	2m	9,3	18,6
Ángulo de aluminio de 1,5mm de espesor (200mm x 200mm)	2m	4,3	8,6
Fleje (20mm x 330mm)	1ud	1,2	1,2
Eje torneado	1ud	51,3	51,3
Varilla lisa: acero Ø 5mm	1m	4	4
Varilla roscada: aluminio Ø 4mm	1m	5,3	5,3
Estructura de apoyo de aluminio	2ud	27,8	55,6
TOTAL CONSTRUCCIÓN			399,3

Ilustración 8.2: Costes de construcción

8.1.3 Sistema electrónico y de control

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placas de circuito de impreso (micro controlador y drivers)	2ud	150	300
Placas de circuito de impreso (Potencia y Acondicionamiento de señal múltiple)	4ud	70	280
Placas de circuito de impreso (Acondicionamiento de señal simple)	9ud	30	270
Batería Yuasa NPH5-12 de 12V y 5Ah	2ud	31,58	63,16
Placa base	1ud	215,13	215,13
Microcontrolador 5082	2ud	18,3	36,6
Bobina de conexionado (0,25mm 10mtr)	3ud	1,32	3,96
Bobinas cable alimentación 0,5 mm (10mtr)	2ud	1,4	2,8
Sensor de infrarrojos GP2D12	14ud	14,56	203,84
Sensor de infrarrojos GP2D120	6ud	18,68	112,08
Sensor de final de carrera (Bumper)	2ud	1,3	2,6
Ratón óptico Trust	2ud	12,7	25,4
Pulsador de parada de emergencia	1ud	19,48	19,48
Protector helicoidal para cables	10m	0,57	5,7
Componentes electrónicos	1ud	48,4	48,4
		TOTAL ELECTRÓNICA	1589,15

Ilustración 8.3: Costes del sistema electrónico y de control

8.1.4 Sistema locomotor

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Motores con reductora y encoders incorporados	2ud	178	356
Pack 4 ruedas	1ud	25	25
Rueda loca central	1ud	4,7	4,7
Rueda loca delantera con soporte de acero incluido	2ud	38,2	76,4
Casquillos	2ud	30,3	60,6
TOTAL LOCOMOTOR			522,7

Ilustración 8.4: Costes del sistema locomotor

8.1.5 Campo de pruebas

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Listones de madera	10ud	2,35	23,5
Material de ferretería	1ud	25,5	25,5
Pintura azul	1ud	11	11
Lámina de plexiglás transparente de 3mm de espesor	2m ²	15	30
TOTAL CAMPO			640

Ilustración 8.5: Costes del campo de pruebas

8.2 COSTES DE PERSONAL

CONCEPTO	SUELDO MENSUAL	MESES	SUELDO TOTAL
Ingeniero Técnico Industrial	1500	7	10500
Ayudante	500	7	3500
TOTAL (Computable)			14000
TOTAL (Grabado)			18060

Ilustración 8.6: Costes de personal

8.3 COSTE TOTAL

CONCEPTO	TOTAL
Costes de material	3358,71
Costes de personal	18060,00
TOTAL	21418,71

Ilustración 8.7: Coste total

CAPÍTULO 9:

BIBLIOGRAFÍA

9.1 Recursos bibliográficos.

- [1] Diseño del sistema de control y accionamiento de recogida de muestras, EUROBOT 2008. José Luís Martín Gómez, PFC Universidad Carlos III de Madrid
- [2] Diseño electrónico de un microrobot, EUROBOT 2008. José Ignacio Albillo Arribas. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] Diseño y construcción de un microrobot, EUROBOT 2008. Pablo Escribano García. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [4] Automatización Industrial II (I. T. I. Electrónica industrial). Transparencias

9.2 Recursos electrónicos

- [5]<http://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata>
- [6]<http://leonardo3.net/leonardo/home.htm>
- [7]<http://blog-italia.com/curiosidades/el-leon-mecanico-de-leonardo-un-curioso-automatismo.html>
- [8]http://xlsemanal.finanzas.com/web/articulo.php?id=25117&id_edicion=2767&salto_pagina=1
- [9]<http://es.wikipedia.org/wiki/Rob%C3%B3tica>
- [10]http://www.laflecha.net/perfiles/ciencia/isaac_asimov
- [11]http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm



- [12]http://espanol.geocities.com/robbottotem/Historia_robotica.htm
- [13]<http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/robotica/historia.htm>
- [14]<http://www.intuitivesurgical.com/index.aspx>
- [15]<http://www.uco.es/~i02alruj/Microrobotica.htm>
- [16]<http://www.datasheetcatalog.net>
- [17]<http://www.futaba-rc.com>
- [18]<http://www.Bernio.it>
- [19]<http://www.maxim-ic.com>
- [20]<http://www.embeddedarm.com/products/board-detail.php?product=TS-7350>
- [21]<http://www.embeddedarm.com/about/resource.php?item=371>

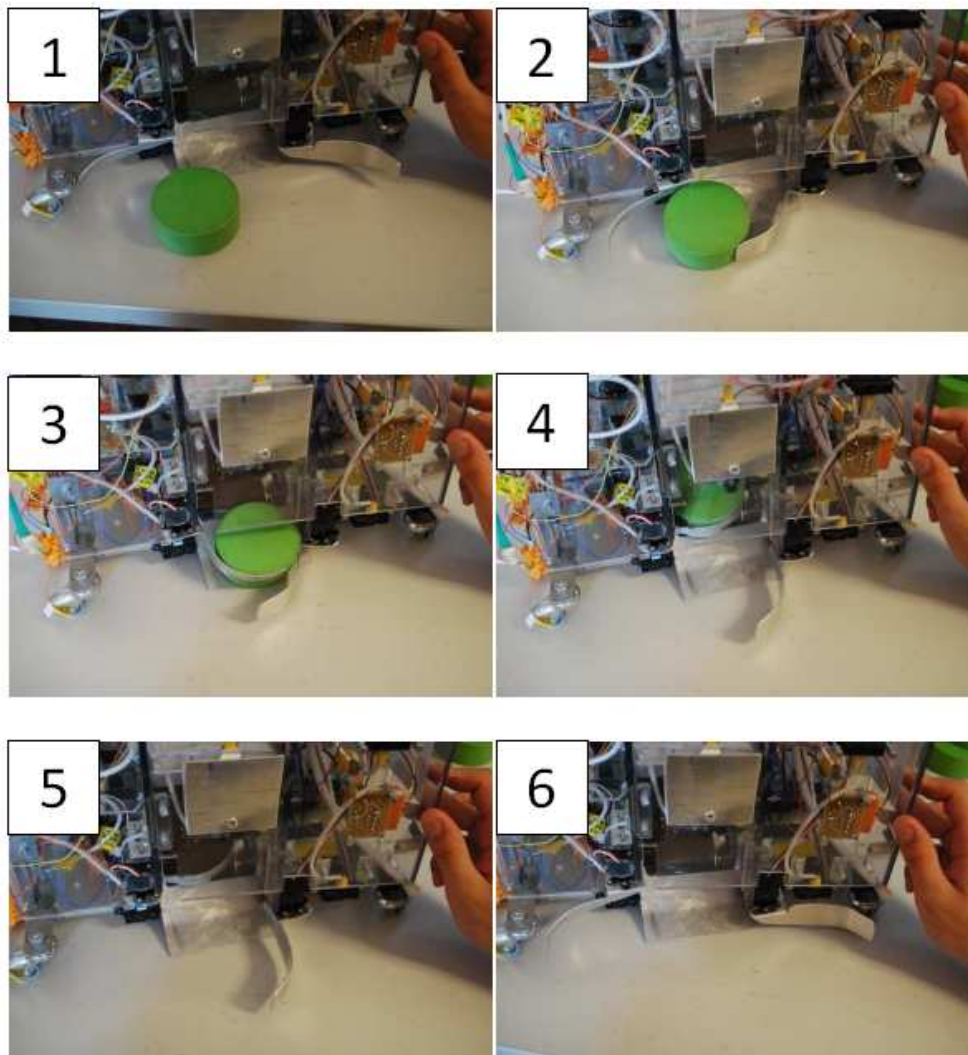
CAPÍTULO 10:

ANEXOS

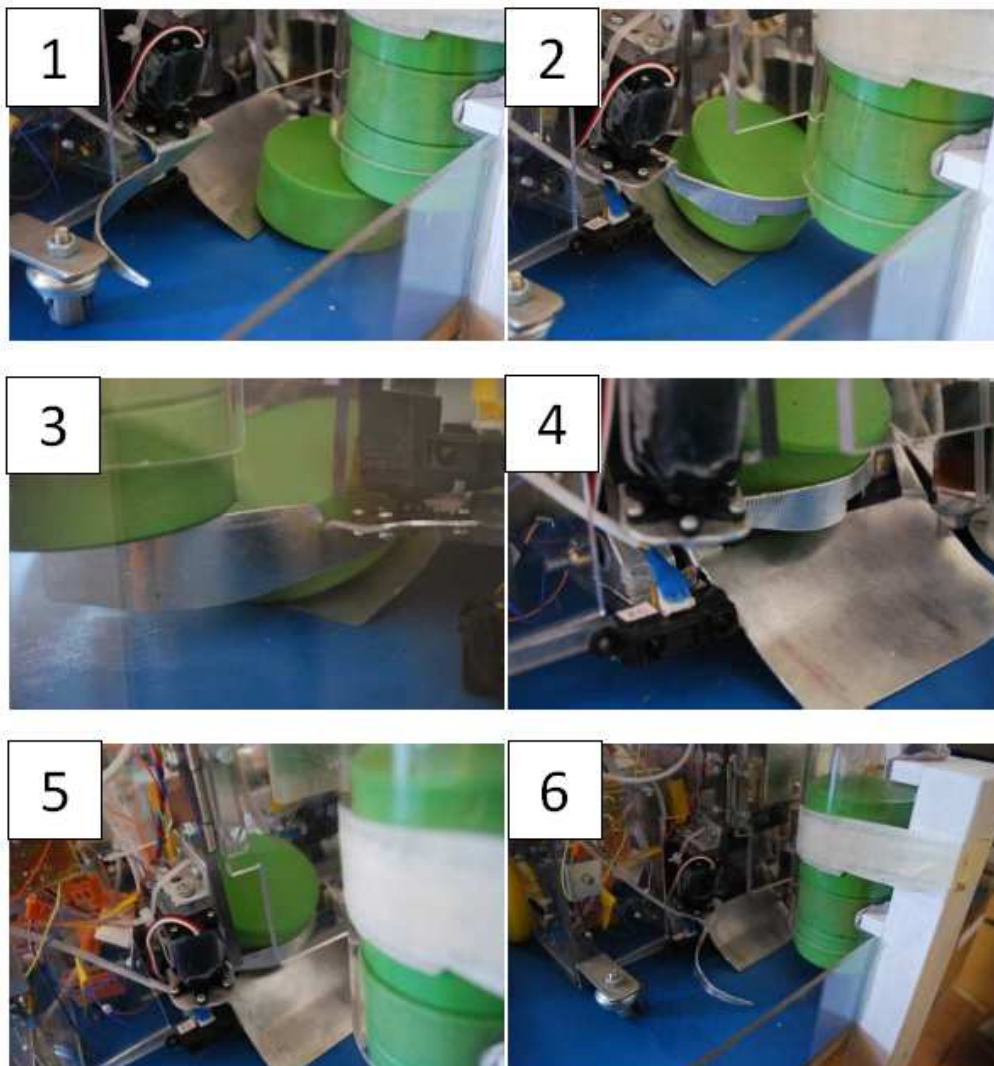
A continuación se adjunta:

- SECUENCIA GRÁFICA DE RECOGIDA DEL SUELO
- SECUENCIA GRÁFICA DE RECOGIDA DEL DISPENSADOR
- SECUENCIA GRÁFICA DE CONSTRUCCIÓN
- CIRCUITOS Y LAYOUTS DE LAS PLACAS
- HOJAS DE CARACTERÍSTICAS
- NORMATIVA DEL EUROBOT 2009
- POSTER DEL ROBOT

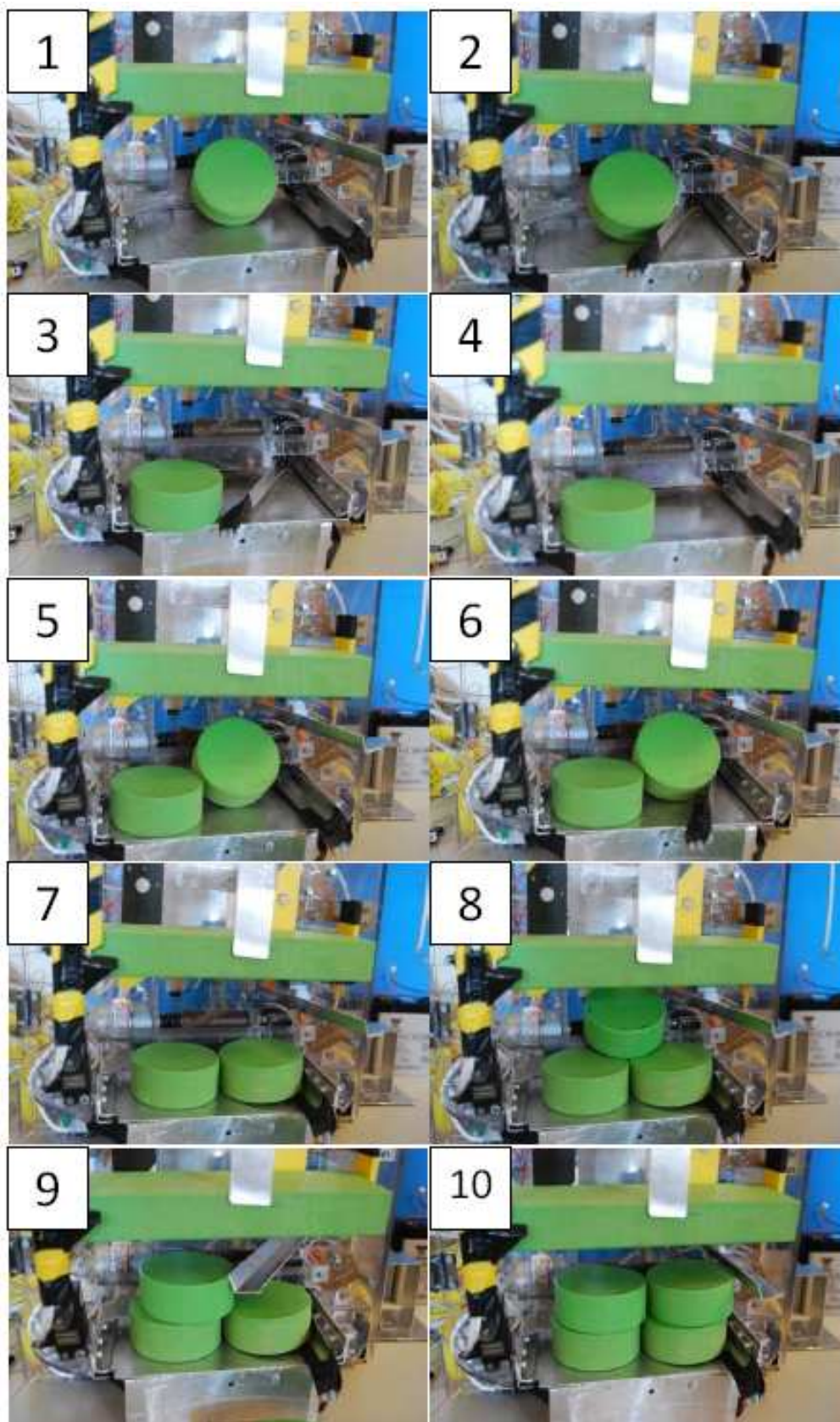
SECUENCIA GRÁFICA DE RECOGIDA DEL SUELO



SECUENCIA GRÁFICA DE RECOGIDA DEL DISPENSADOR



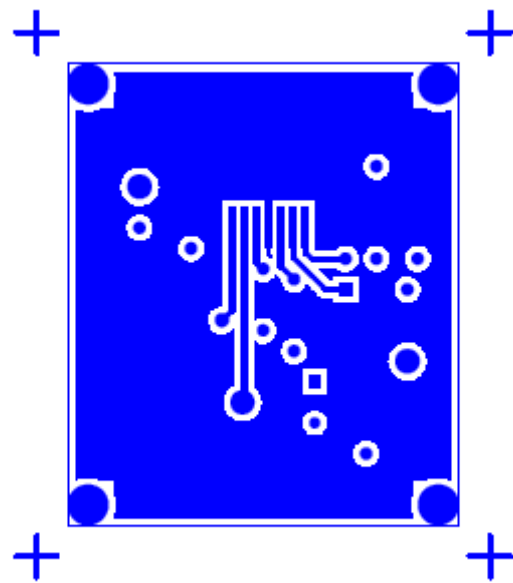
SECUENCIA GRÁFICA DE CONSTRUCCIÓN



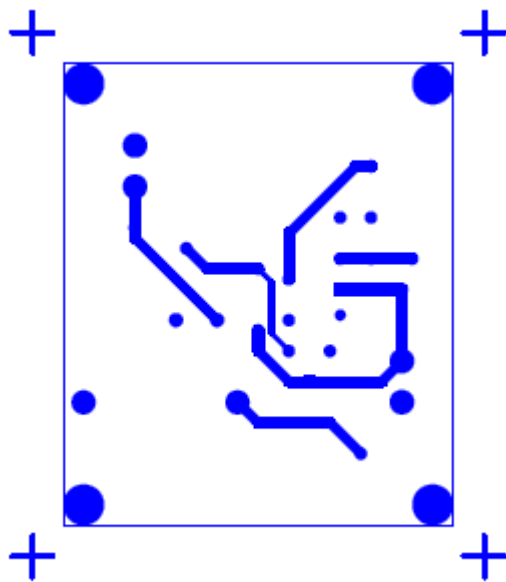


De la figura 1 a la 10 la barra debería estar en posición de reposo, es decir, horizontal, pero se ha puesto en vertical para que las imágenes fueran más claras.

PLACA DE POTENCIA DE 5 VOLTIOS

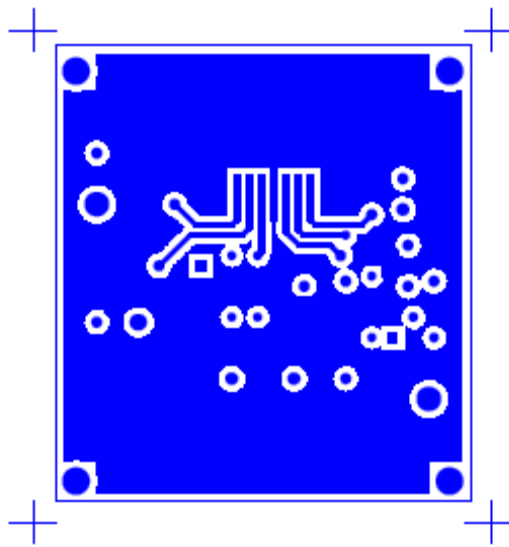


(TOP)

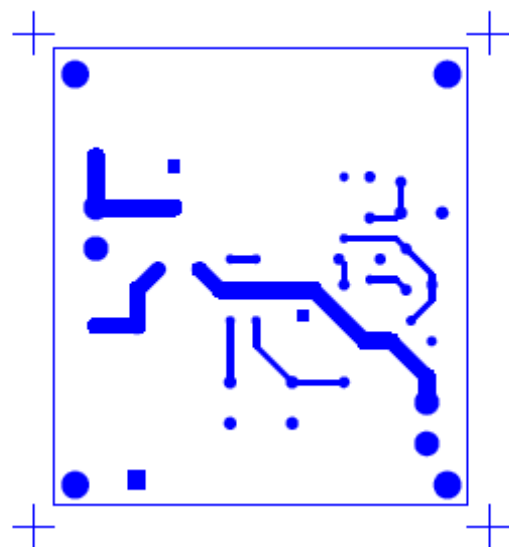


(BOTTOM)

PLACA DE POTENCIA DE 7,2 VOLTIOS

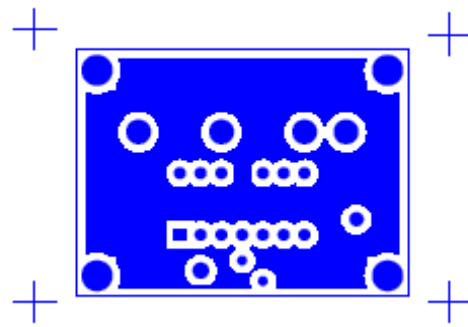


(TOP)

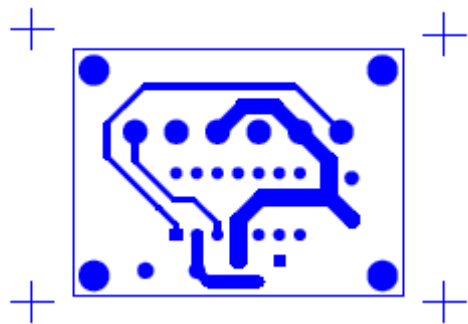


(BOTTOM)

PLACA DE ACONDICIONAMIENTO INDIVIDUAL

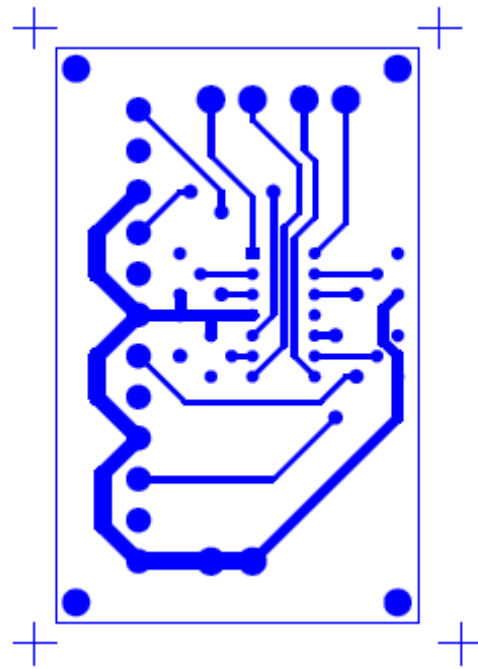


(TOP)

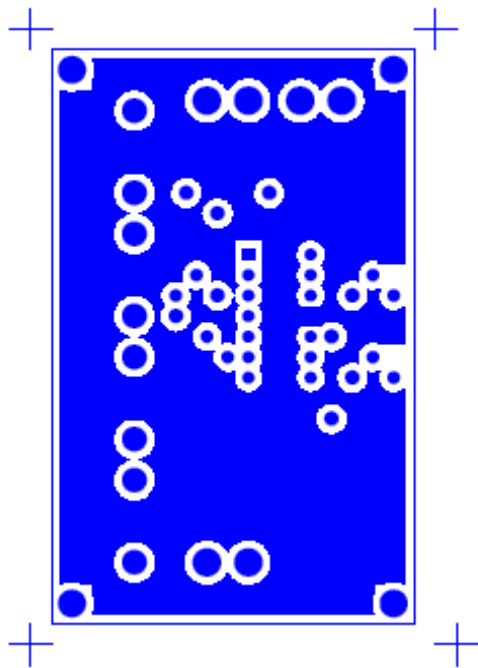


(BOTTOM)

PLACA DE ACONDICIONAMIENTO MULTIPLE

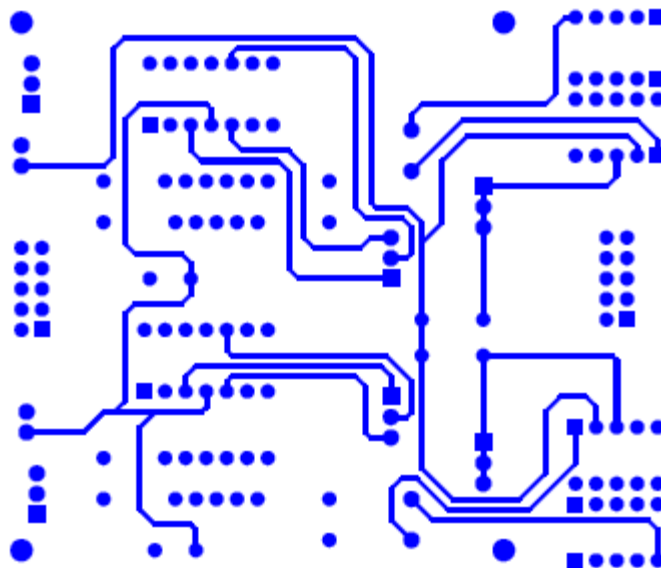


(TOP)

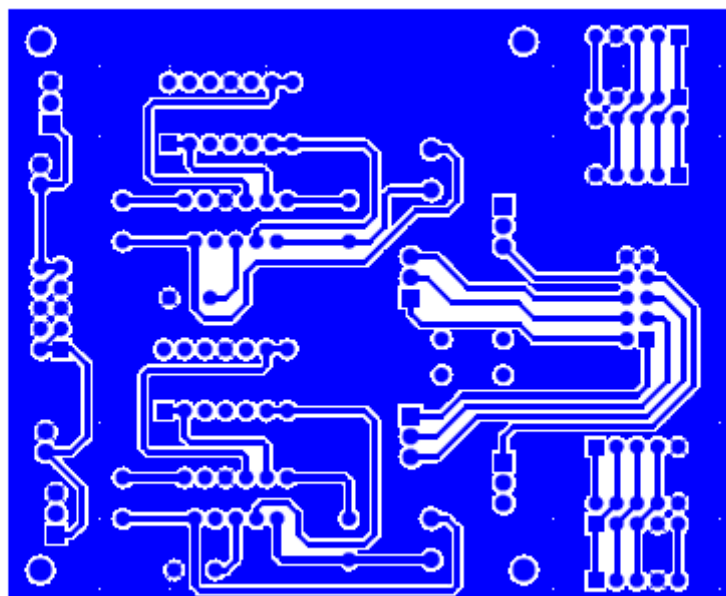


(BOTTOM)

PLACA DE CONTROL DE MOTORES (DRIVERS)

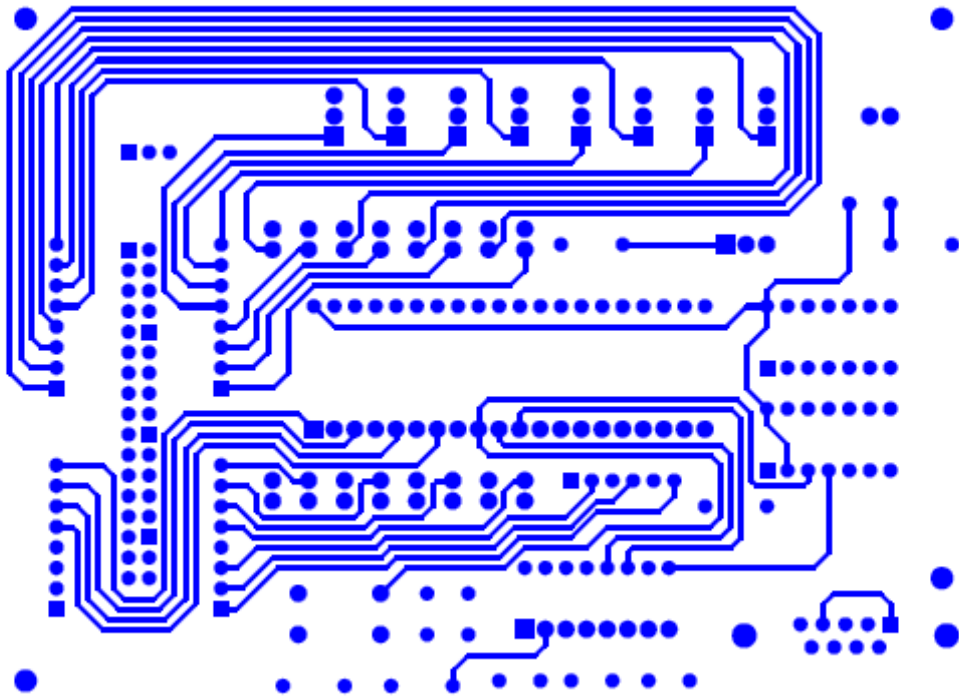


(TOP)

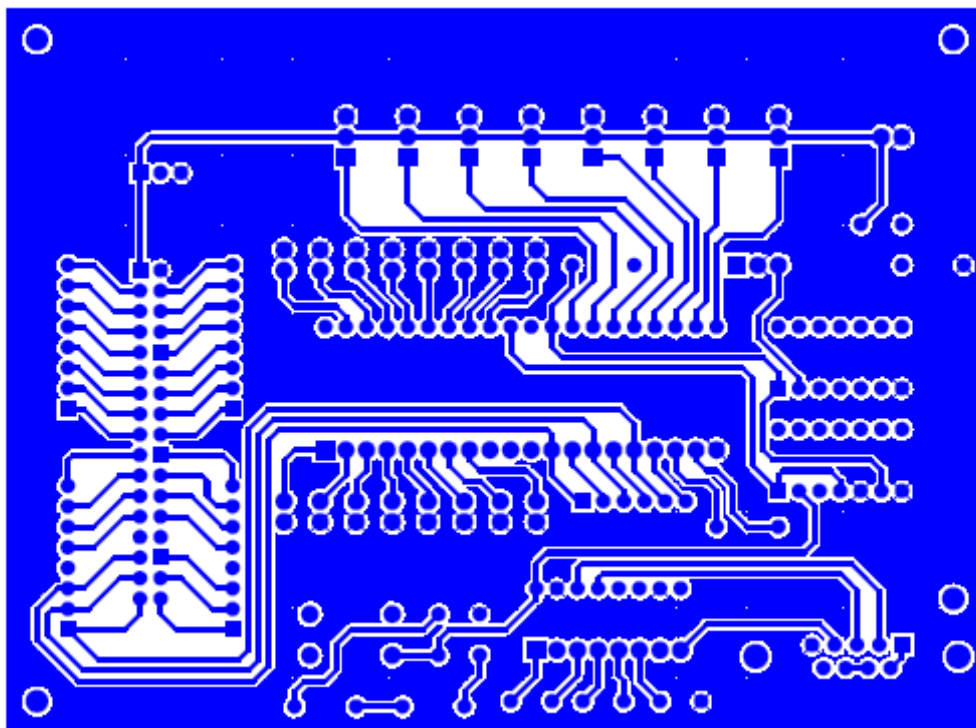


(BOTTOM)

PLACA DEL MICROPROCESADOR 8052



(TOP)



(BOTTOM)

LMD18200 3A, 55V H-Bridge

- No “shoot-through” current
- Thermal warning flag output at 145°C
- Thermal shutdown (outputs off) at 170°C
- Internal clamp diodes
- Shorted load protection
- Internal charge pump with external bootstrap capability

The LMD18200 is a 3A H-Bridge designed for motion control applications. The device is built using a multi-technology process which combines bipolar and CMOS control circuitry with DMOS power devices on the same monolithic structure. Ideal for driving DC and stepper motors; the LMD18200 accommodates peak output currents up to 6A. An innovative circuit which facilitates low-loss sensing of the output current has been implemented.

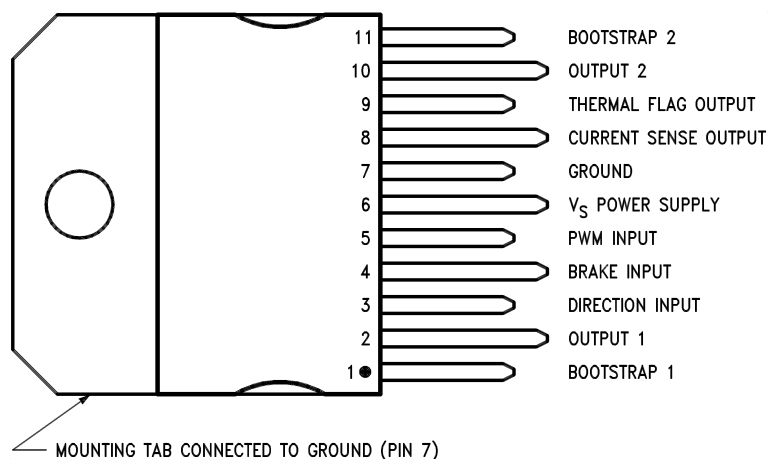
Applications

- Delivers up to 3A continuous output
- Operates at supply voltages up to 55V
- Low $R_{DS}(ON)$ typically 0.3 Ω per switch
- TTL and CMOS compatible inputs

- DC and stepper motor drives
- Position and velocity servomechanisms
- Factory automation robots
- Numerically controlled machinery
- Computer printers and plotters

FIGURE 1. Functional Block Diagram of LMD18200

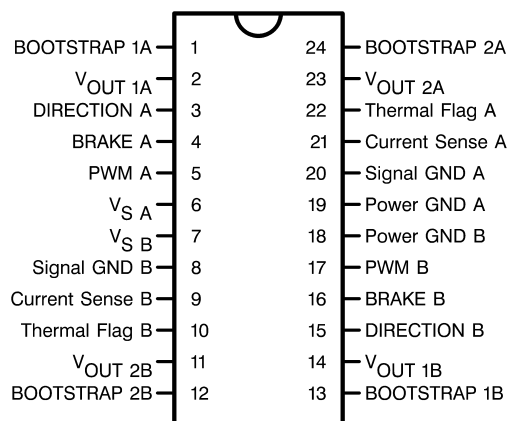
Connection Diagrams and Ordering Information



01056802

11-Lead TO-220 Package Top View

Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B



01056825

24-Lead Dual-in-Line Package Top View

Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
See NS Package DA24B

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_S , Pin 6)	60V
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	$V_{OUT} + 16V$
Peak Output Current (200 ms)	6A
Continuous Output Current (Note 2)	3A
Power Dissipation (Note 3)	25W

Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$, Free Air)	3W
Junction Temperature, $T_{J(max)}$	150°C
ESD Susceptibility (Note 4)	1500V
Storage Temperature, T_{STG}	-40°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

Operating Ratings(Note 1)

Junction Temperature, T_J	-40°C to +125°C
V_S Supply Voltage	+12V to +55V

Electrical Characteristics (Note 5)

The following specifications apply for $V_S = 42V$, unless otherwise specified. **Boldface** limits apply over the entire operating temperature range, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, all other limits are for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		-0.1 0.8	V (min) V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	$V_{IN} = -0.1V$, Pins = 3, 4, 5		-10	μA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		2 12	V (min) V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	$V_{IN} = 12V$, Pins = 3, 4, 5		10	μA (max)
	Current Sense Output	$I_{OUT} = 1A$ (Note 8)	377	325/ 300 425/ 450	μA (min) μA (max)
	Current Sense Linearity	$1A \leq I_{OUT} \leq 3A$ (Note 7)	± 6	± 9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9 11	V (min) V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 $\leq 0.8V$, $I_L = 2\text{ mA}$	145		$^\circ\text{C}$
$V_F(ON)$	Flag Output Saturation Voltage	$T_J = T_{JW}$, $I_L = 2\text{ mA}$	0.15		V
$I_F(OFF)$	Flag Output Leakage	$V_F = 12V$	0.2	10	μA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		$^\circ\text{C}$
I_S	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Don}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	300 300		ns ns
t_{on}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	100 80		ns ns
t_{Doff}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	200 200		ns ns
t_{off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	75 70		ns ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		μs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		μs

Electrical Characteristics Notes

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 2: See Application Information for details regarding current limiting.

Note 3: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is a function of $T_{J(max)}$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_{D(max)} = (T_{J(max)} - T_A)/\theta_{JA}$, or the number given in the Absolute Ratings, whichever is lower. The typical thermal resistance from junction to case (θ_{JC}) is 1.0°C/W and from junction to ambient (θ_{JA}) is 30°C/W. For guaranteed operation $T_{J(max)} = 125^\circ\text{C}$.

Note 4: Human-body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor. Except Bootstrap pins (pins 1 and 11) which are protected to 1000V of ESD.

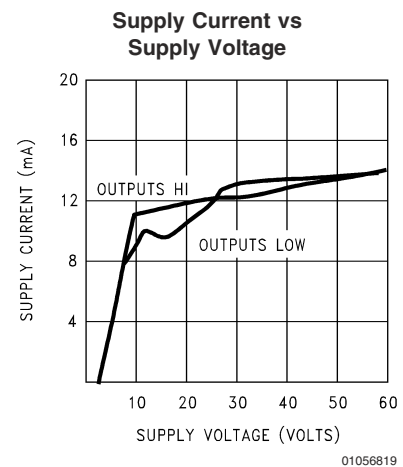
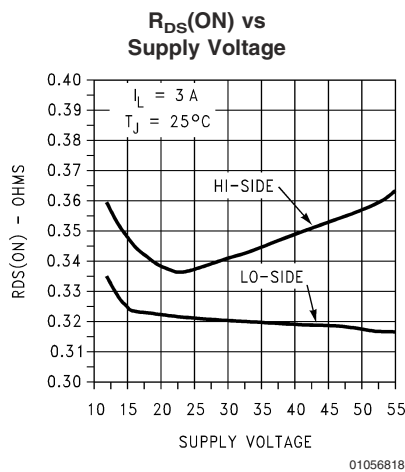
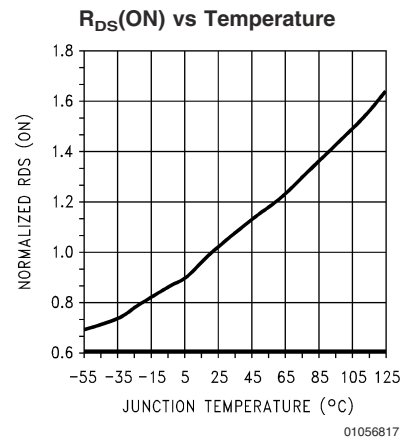
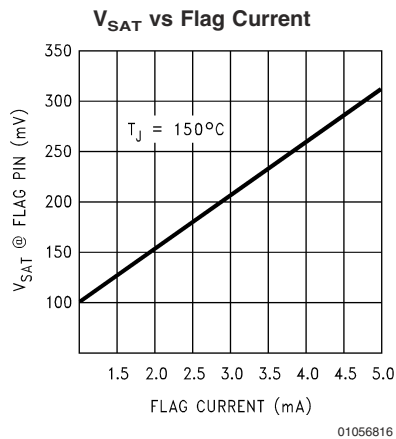
Note 5: All limits are 100% production tested at 25°C. Temperature extreme limits are guaranteed via correlation using accepted SQC (Statistical Quality Control) methods. All limits are used to calculate AOQL, (Average Outgoing Quality Level).

Note 6: Output currents are pulsed ($t_W < 2$ ms, Duty Cycle $< 5\%$).

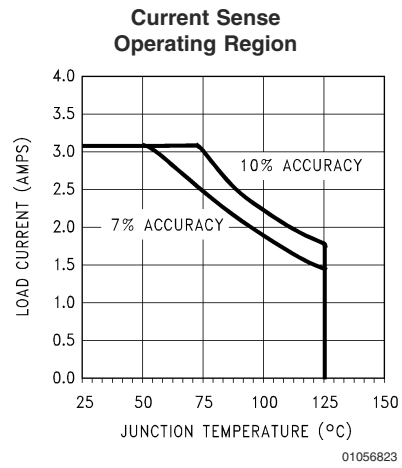
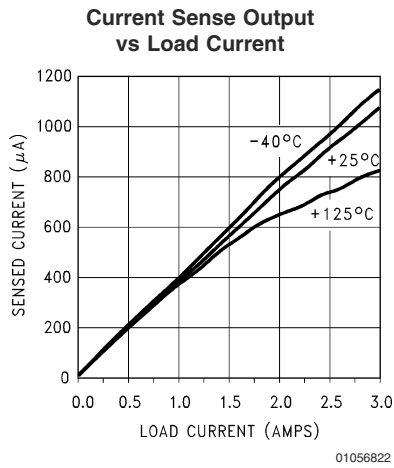
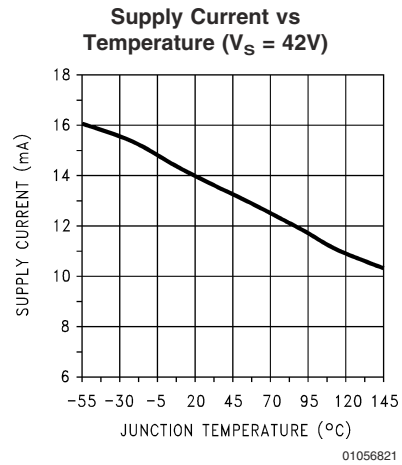
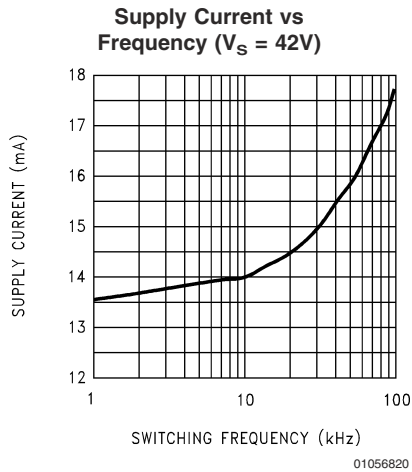
Note 7: Regulation is calculated relative to the current sense output value with a 1A load.

Note 8: Selections for tighter tolerance are available. Contact factory.

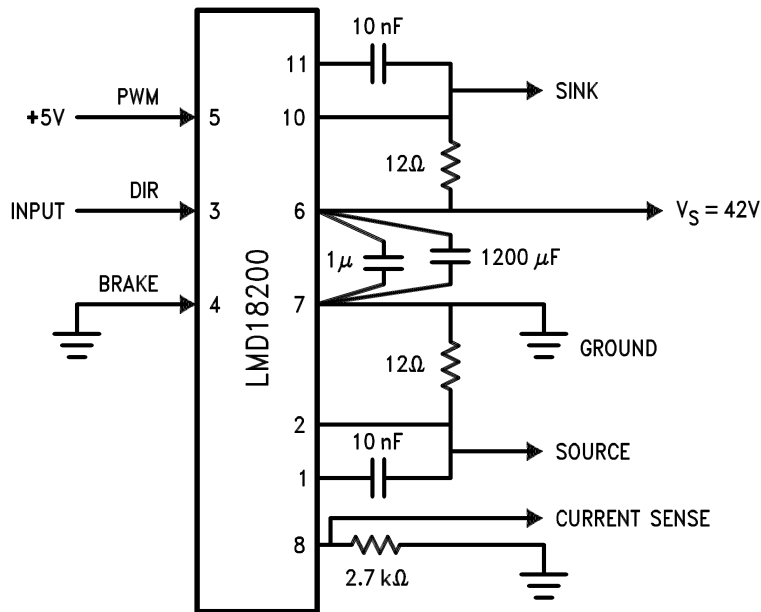
Typical Performance Characteristics



Typical Performance Characteristics (Continued)

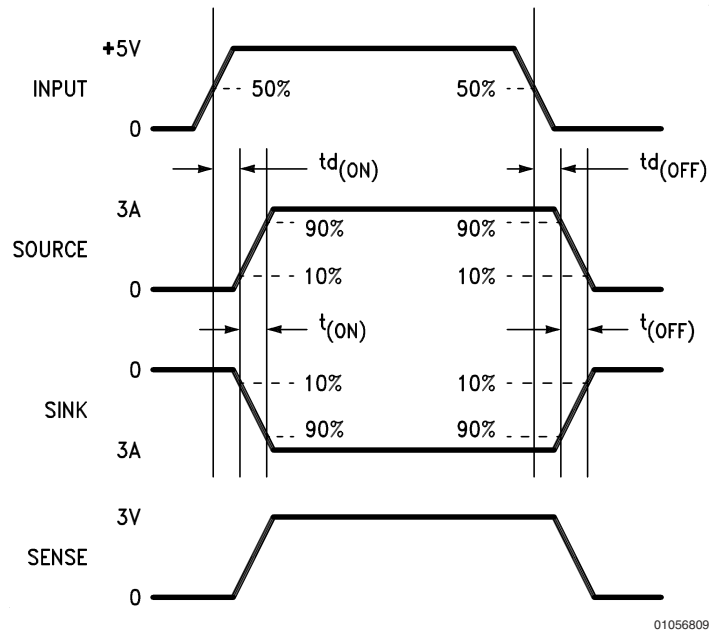


Test Circuit



01056808

Switching Time Definitions



Pinout Description

(See Connection Diagram)

Pin 1, BOOTSTRAP 1 Input: Bootstrap capacitor pin for half H-bridge number 1. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 1 and 2.

Pin 2, OUTPUT 1: Half H-bridge number 1 output.

Pin 3, DIRECTION Input: See *Table 1*. This input controls the direction of current flow between OUTPUT 1 and OUTPUT 2 (pins 2 and 10) and, therefore, the direction of rotation of a motor load.

Pin 4, BRAKE Input: See *Table 1*. This input is used to brake a motor by effectively shorting its terminals. When braking is desired, this input is taken to a logic high level and it is also necessary to apply logic high to PWM input, pin 5. The drivers that short the motor are determined by the logic level at the DIRECTION input (Pin 3): with Pin 3 logic high, both current sourcing output transistors are ON; with Pin 3 logic low, both current sinking output transistors are ON. All output transistors can be turned OFF by applying a logic high to Pin 4 and a logic low to PWM input Pin 5; in this case only a small bias current (approximately -1.5 mA) exists at each output pin.

Pin 5, PWM Input: See *Table 1*. How this input (and DIRECTION input, Pin 3) is used is determined by the format of the PWM signal.

Pin 6, V_S Power Supply

Pin 7, GROUND Connection: This pin is the ground return, and is internally connected to the mounting tab.

Pin 8, CURRENT SENSE Output: This pin provides the sourcing current sensing output signal, which is typically 377 μ A/A.

Pin 9, THERMAL FLAG Output: This pin provides the thermal warning flag output signal. Pin 9 becomes active-low at 145°C (junction temperature). However the chip will not shut itself down until 170°C is reached at the junction.

Pin 10, OUTPUT 2: Half H-bridge number 2 output.

Pin 11, BOOTSTRAP 2 Input: Bootstrap capacitor pin for Half H-bridge number 2. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 10 and 11.

TABLE 1. Logic Truth Table

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Application Information

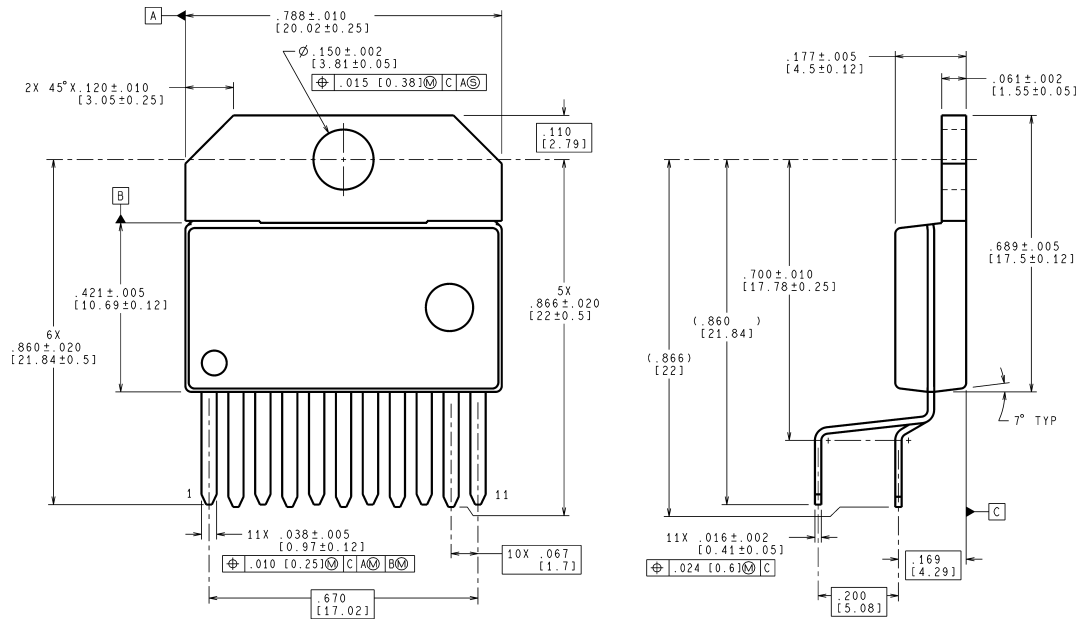
TYPES OF PWM SIGNALS

The LMD18200 readily interfaces with different forms of PWM signals. Use of the part with two of the more popular forms of PWM is described in the following paragraphs.

Simple, locked anti-phase PWM consists of a single, variable duty-cycle signal in which is encoded both direction and amplitude information (see *Figure 2*). A 50% duty-cycle PWM signal represents zero drive, since the net value of voltage (integrated over one period) delivered to the load is zero. For the LMD18200, the PWM signal drives the direction input (pin 3) and the PWM input (pin 5) is tied to logic high.

Physical Dimensions inches (millimeters)

unless otherwise noted

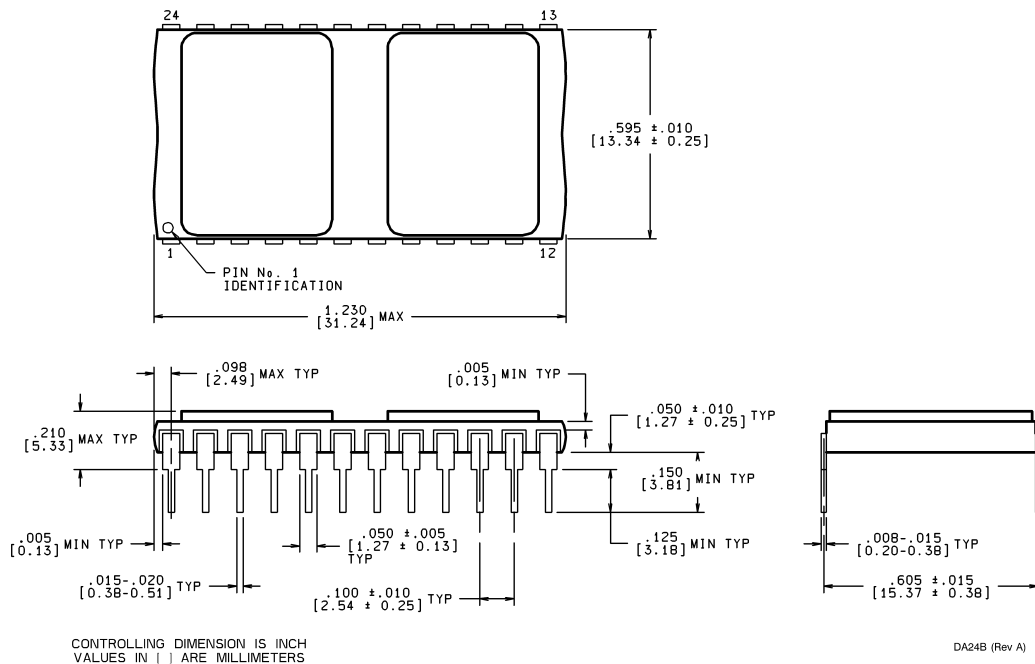


CONTROLLING DIMENSION IS INCH
VALUES IN [] ARE MILLIMETERS

TA11B (Rev B)

11-Lead TO-220 Power Package (T)
Order Number LMD18200T
NS Package Number TA11B

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



24-Lead Dual-in-Line Package
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
NS Package Number DA24B

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at www.national.com.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor manufactures products and uses packing materials that meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
 Email: new.feedback@nsc.com
 Tel: 1-800-272-9959

www.national.com

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
 Fax: 81-3-5639-7507
 Email: jpn.feedback@nsc.com
 Tel: 81-3-5639-7560



IRF530

N-CHANNEL 100V - 0.115 Ω - 14A TO-220 LOW GATE CHARGE STripFET™ II POWER MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRF530	100 V	<0.16 Ω	14 A

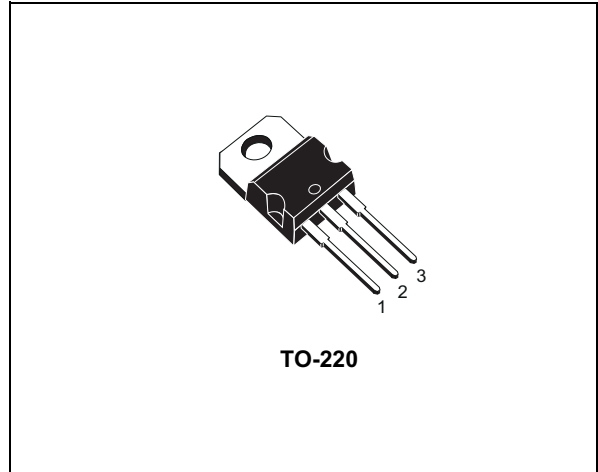
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.115 Ω
- AVALANCHE RUGGED TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- LOW GATE CHARGE
- HIGH CURRENT CAPABILITY
- 175 °C OPERATING TEMPERATURE

DESCRIPTION

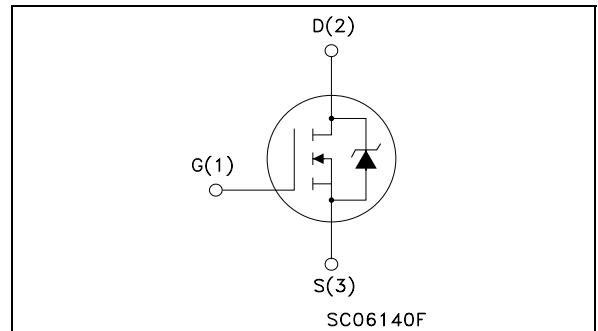
This MOSFET series realized with STMicroelectronics unique STripFET™ process has specifically been designed to minimize input capacitance and gate charge. It is therefore suitable as primary switch in advanced high-efficiency, high-frequency isolated DC-DC converters for Telecom and Computer applications. It is also intended for any applications with low gate drive requirements.

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SWITCHING SPEED
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- REGULATOR
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- AUTOMOTIVE ENVIRONMENT (INJECTION, ABS, AIR-BAG, LAMPDRIVERS, etc.)



INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	100	V
V _{DGR}	Drain-gate Voltage (R _{GS} = 20 k Ω)	100	V
V _{GS}	Gate- source Voltage	± 20	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	14	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	10	A
I _{DM} (●)	Drain Current (pulsed)	56	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _C = 25°C	60	W
	Derating Factor	0.4	W/°C
dv/dt (1)	Peak Diode Recovery voltage slope	20	V/ns
E _{AS} (2)	Single Pulse Avalanche Energy	70	mJ
T _{stg}	Storage Temperature	-55 to 175	°C
T _j	Operating Junction Temperature		

(●) Pulse width limited by safe operating area.

(1) I_{SD} ≤ 14A, di/dt ≤ 300A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS}, T_j ≤ T_{JMAX}
 (2) Starting T_j = 25 °C, I_D = 14A, V_{DD} = 50V

THERMAL DATA

R _{thj-case}	Thermal Resistance Junction-case	Max	2.5	°C/W
R _{thj-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	62.5	°C/W
T _I	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose		300	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{(BR)DSS}	Drain-source Breakdown Voltage	I _D = 250 µA, V _{GS} = 0	100			V
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current (V _{GS} = 0)	V _{DS} = Max Rating V _{DS} = Max Rating T _C = 100°C			1 10	µA µA
I _{GSS}	Gate-body Leakage Current (V _{DS} = 0)	V _{GS} = ± 20 V			±100	nA

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{DS} = V _{GS} I _D = 250 µA	2	3	4	V
R _{DS(on)}	Static Drain-source On Resistance	V _{GS} = 10 V I _D = 7 A		0.115	0.16	Ω

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g _{fs} (*)	Forward Transconductance	V _{DS} = 15 V I _D = 7 A		7		S
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 25V, f = 1 MHz, V _{GS} = 0		458		pF
C _{oss}	Output Capacitance			68		pF
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance			29		pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$ t_r	Turn-on Delay Time Rise Time	$V_{DD} = 50\text{ V}$ $I_D = 7\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (Resistive Load, Figure 3)		16 25		ns ns
Q_g Q_{gs} Q_{gd}	Total Gate Charge Gate-Source Charge Gate-Drain Charge	$V_{DD} = 80\text{ V}$ $I_D = 14\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$		16 3.7 4.7	21	nC nC nC

SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(off)}$ t_f	Turn-off Delay Time Fall Time	$V_{DD} = 50\text{ V}$ $I_D = 7\text{ A}$ $R_G = 4.7\ \Omega$, $V_{GS} = 10\text{ V}$ (Resistive Load, Figure 3)		32 8		ns ns

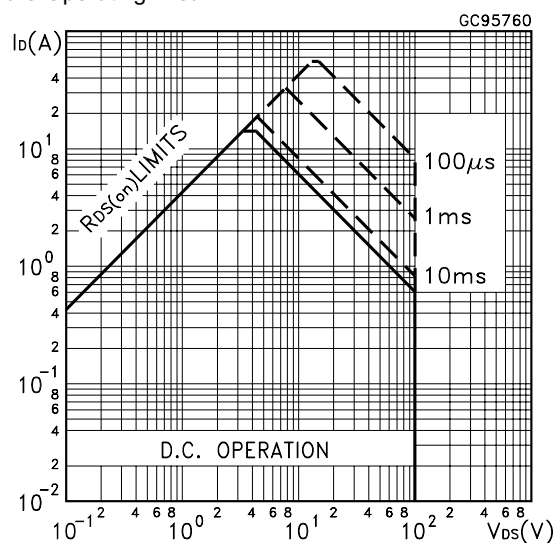
SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD} $I_{SDM}^{(*)}$	Source-drain Current Source-drain Current (pulsed)				14 56	A A
$V_{SD}^{(*)}$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 14\text{ A}$ $V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr} Q_{rr} I_{RRM}	Reverse Recovery Time Reverse Recovery Charge Reverse Recovery Current	$I_{SD} = 14\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 10\text{ V}$ $T_j = 150^\circ\text{C}$ (see test circuit, Figure 5)		92 230 5		ns nC A

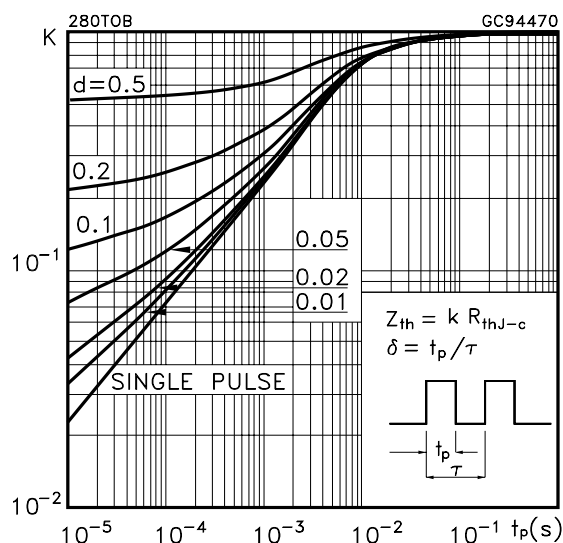
(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %.

(●) Pulse width limited by safe operating area.

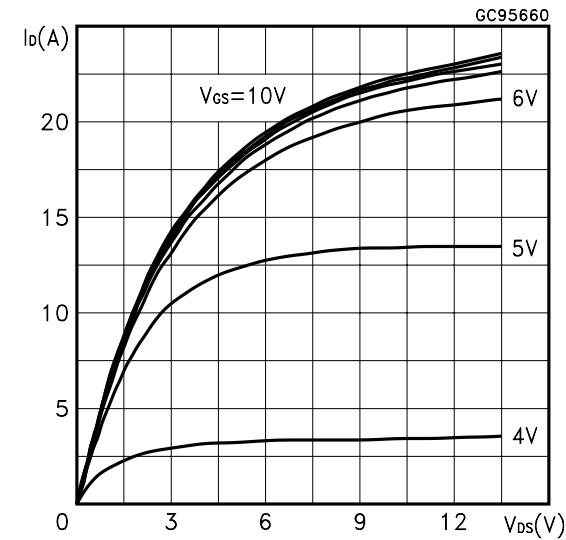
Safe Operating Area



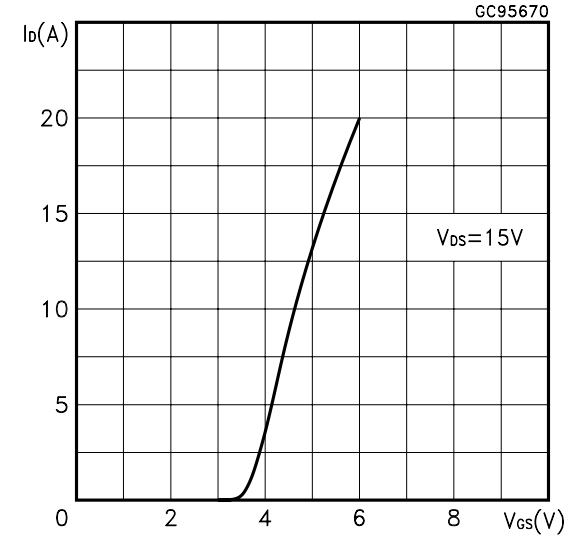
Thermal Impedance



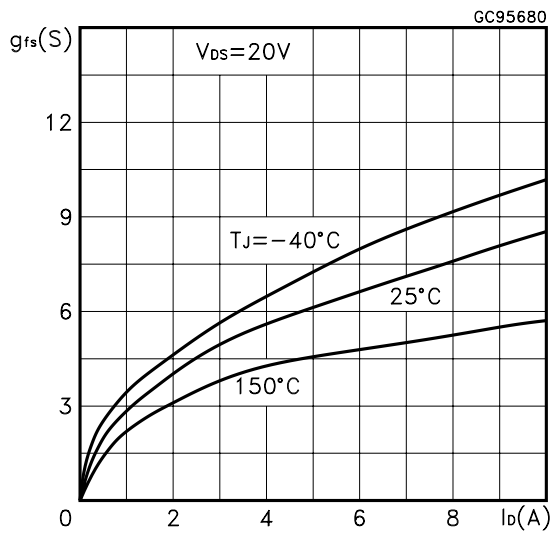
Output Characteristics



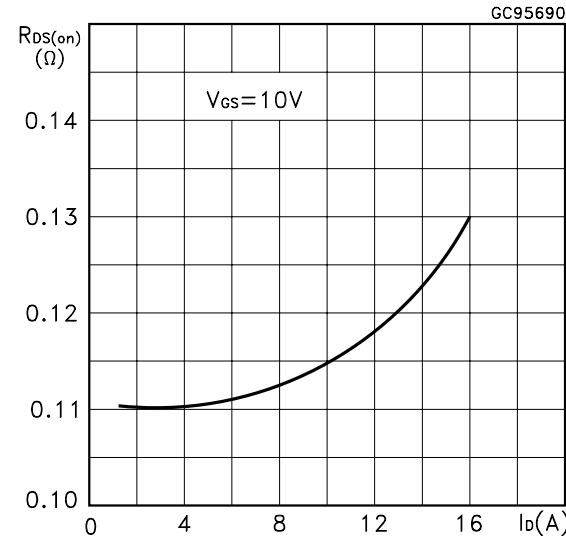
Transfer Characteristics



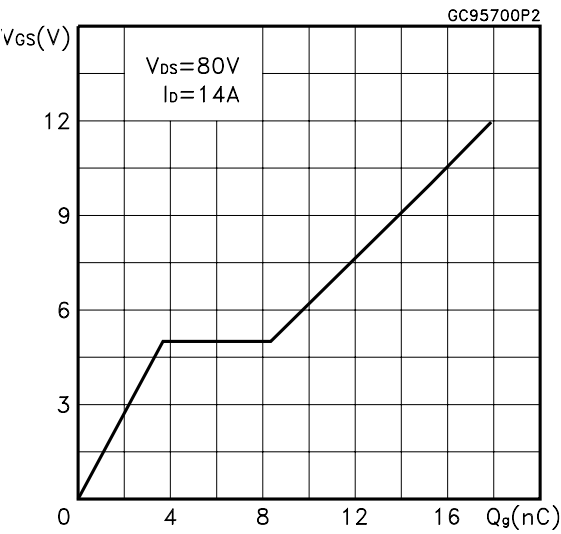
Transconductance



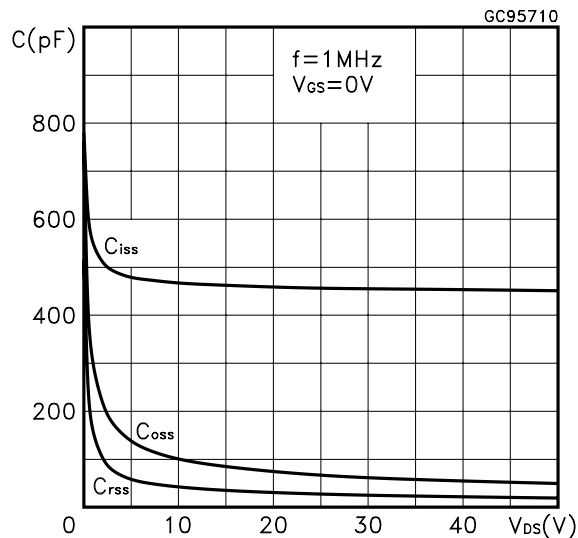
Static Drain-source On Resistance



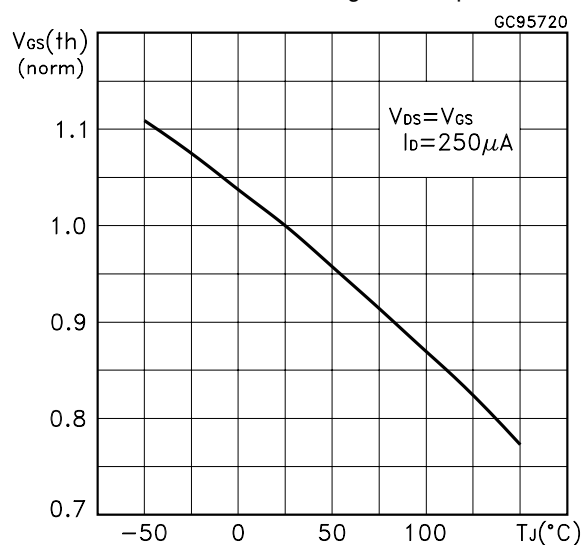
Gate Charge vs Gate-source Voltage



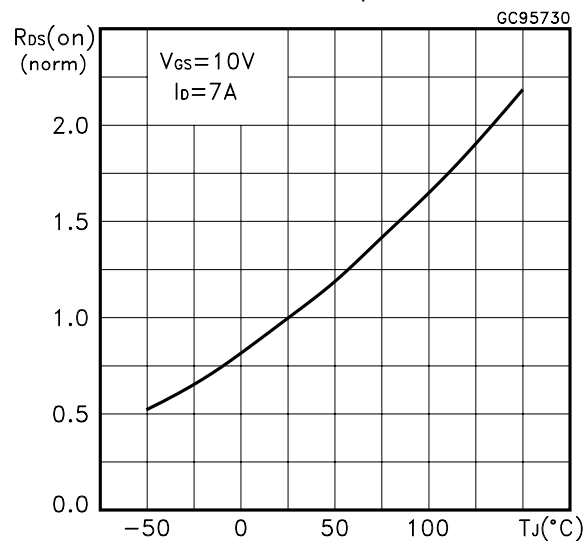
Capacitance Variations



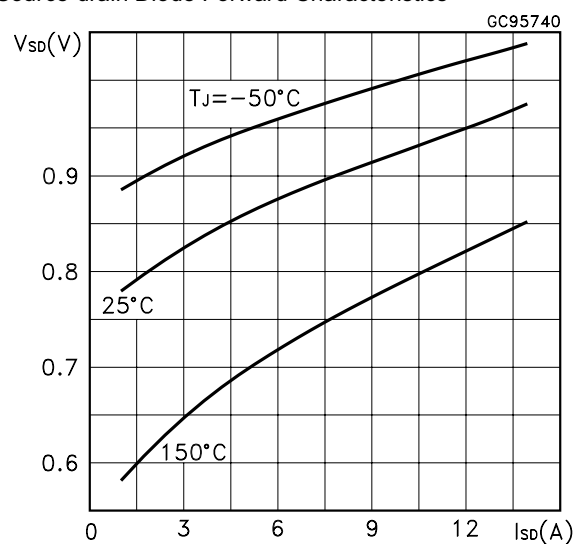
Normalized Gate Threshold Voltage vs Temperature



Normalized on Resistance vs Temperature



Source-drain Diode Forward Characteristics



Normalized Breakdown Voltage vs Temperature

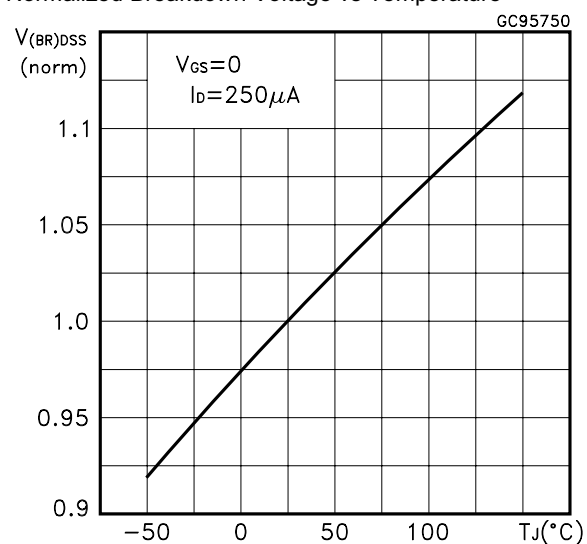


Fig. 1: Unclamped Inductive Load Test Circuit

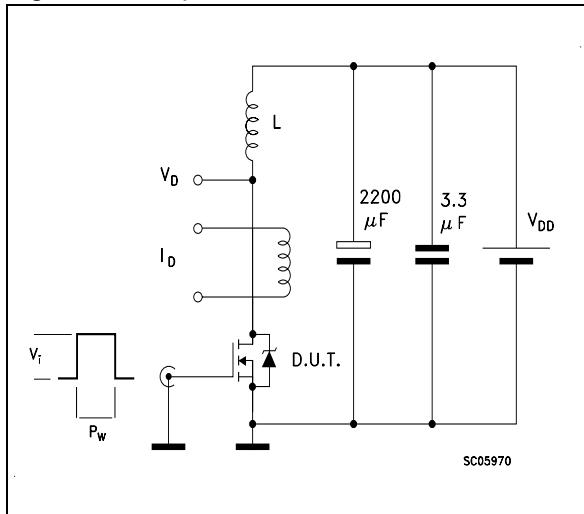


Fig. 2: Unclamped Inductive Waveform

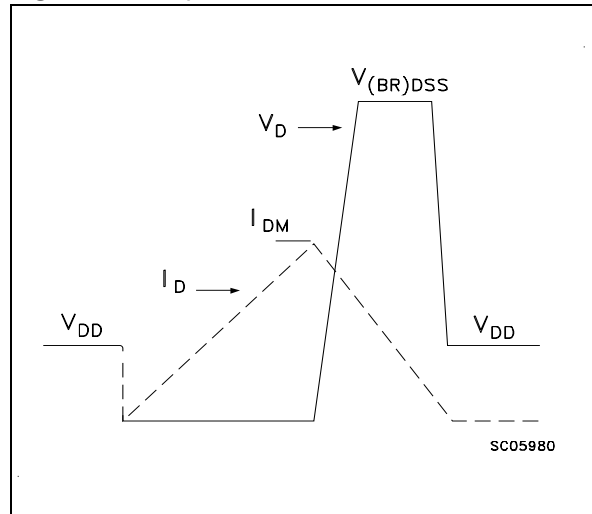


Fig. 3: Switching Times Test Circuits For Resistive Load

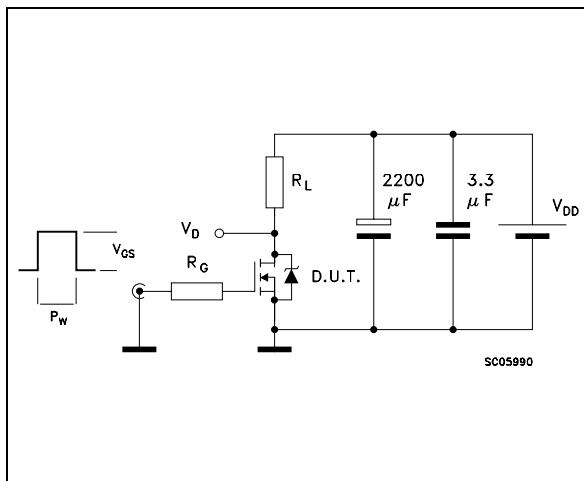


Fig. 4: Gate Charge test Circuit

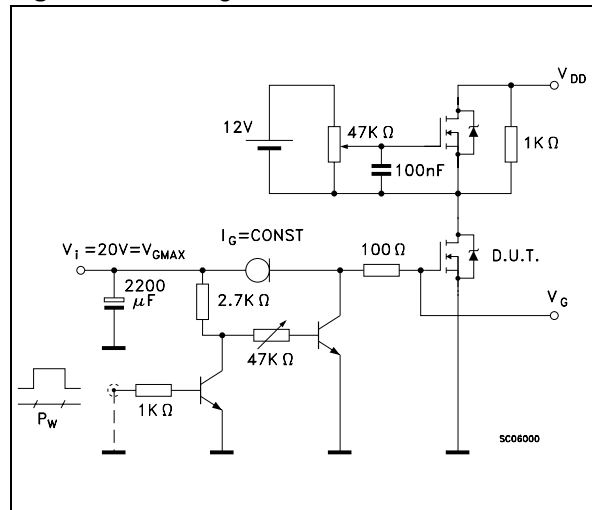
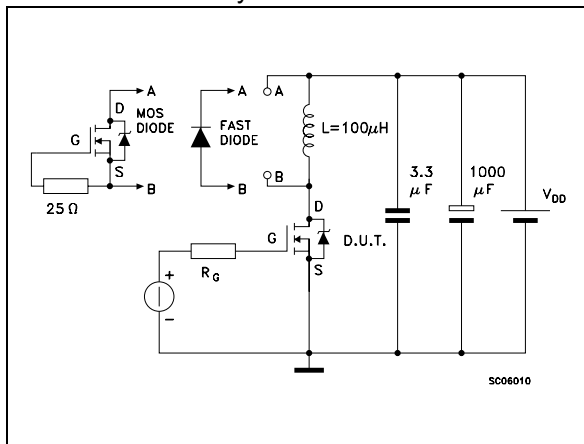
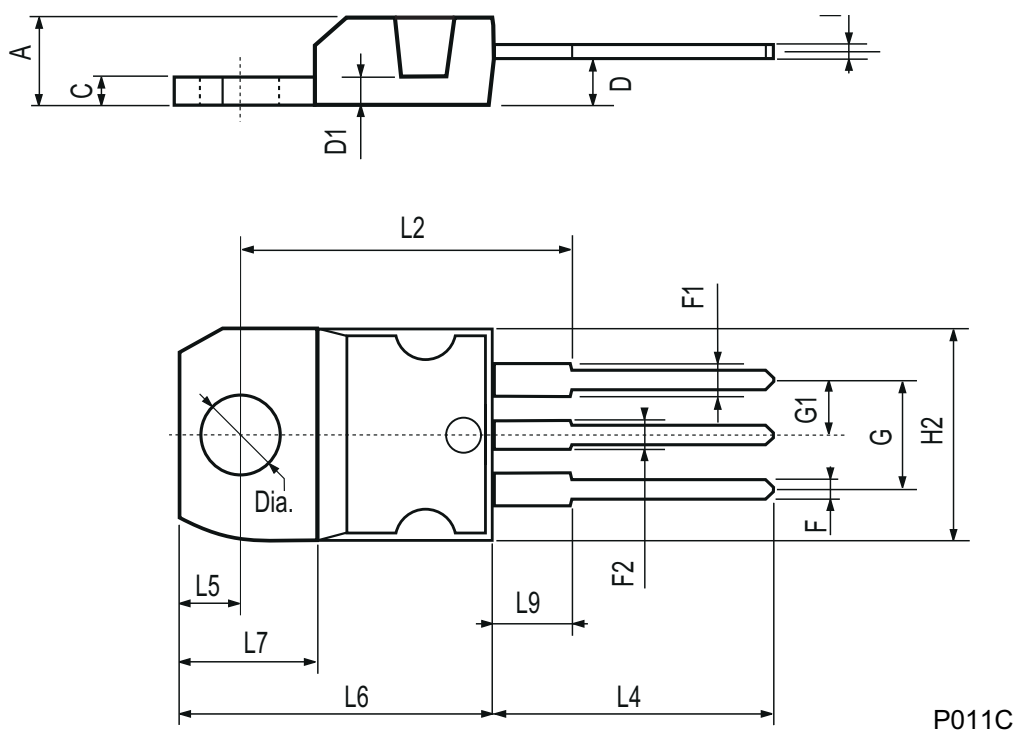


Fig. 5: Test Circuit For Inductive Load Switching And Diode Recovery Times



TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



LM2599

SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator, with Features

General Description

The LM2599 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version.

This series of switching regulators is similar to the LM2596 series, with additional supervisory and performance features added.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation†, improved line and load specifications, fixed-frequency oscillator, Shutdown/Soft-start, error flag delay and error flag output.

The LM2599 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-lead TO-263 Surface mount package.

A standard series of inductors (both through hole and surface mount types) are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2599 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage under all conditions of input voltage and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80 μA

standby current. Self protection features include a two stage current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions.

Features

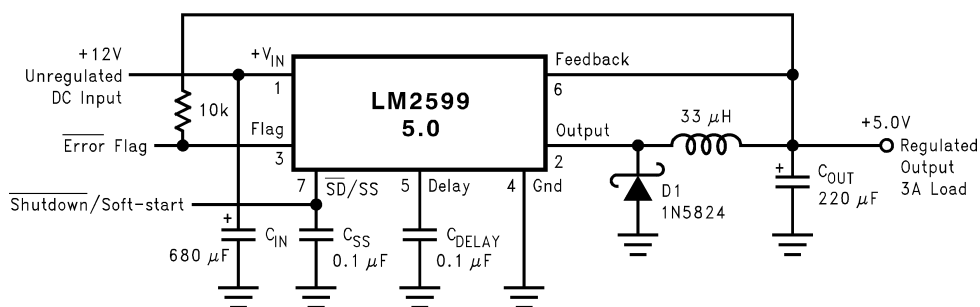
- 3.3V, 5V, 12V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.2V to 37V $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Available in 7-pin TO-220 and TO-263 (surface mount) Package
- Input voltage range up to 40V
- 150 kHz fixed frequency internal oscillator
- Shutdown/Soft-start
- Out of regulation error flag
- Error output delay
- Low power standby mode, I_Q typically 80 μA
- High Efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to Negative converter

Note: † Patent Number 5,382,918.

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



DS012582-1

SIMPLE SWITCHER® and Switchers Made Simple® are registered trademarks of National Semiconductor Corporation.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Maximum Supply Voltage (V_{IN})	45V
\overline{SD} /SS Pin Input Voltage (Note 2)	6V
Delay Pin Voltage (Note 2)	1.5V
Flag Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq 45V$
Feedback Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$

ESD Susceptibility

Human Body Model (Note 3)	2 kV
Lead Temperature	
S Package	
Vapor Phase (60 sec.)	$+215^{\circ}C$
Infrared (10 sec.)	$+245^{\circ}C$
T Package (Soldering, 10 sec.)	$+260^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature	$+150^{\circ}C$

Operating Conditions

Temperature Range	$-40^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$
Supply Voltage	4.5V to 40V

LM2599-3.3**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}C$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-3.3		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit <i>Figure 1</i>					
V _{OUT}	Output Voltage	4.75V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	3.3	3.168/ 3.135 3.432/ 3.465	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 3A	73		%

LM2599-5.0**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}C$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-5.0		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit <i>Figure 1</i>					
V _{OUT}	Output Voltage	7V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	5	4.800/ 4.750 5.200/ 5.250	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, I _{LOAD} = 3A	80		%

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-12		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit <i>Figure 1</i>					
V _{OUT}	Output Voltage	15V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A	12	11.52/ 11.40 12.48/ 12.60	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} = 25V, I _{LOAD} = 3A	90		%

LM2599-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-ADJ		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit <i>Figure 1</i>					
V _{FB}	Feedback Voltage	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 40V, 0.2A ≤ I _{LOAD} ≤ 3A V _{OUT} programmed for 3V. Circuit of <i>Figure 1</i> .	1.230	1.193/ 1.180 1.267/ 1.280	V V(min) V(max)
η	Efficiency	V _{IN} = 12V, V _{OUT} = 3V, I _{LOAD} = 3A	73		%

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and $V_{IN} = 24\text{V}$ for the 12V version. $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-XX		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
DEVICE PARAMETERS					
I _b	Feedback Bias Current	Adjustable Version Only, V _{FB} = 1.3V	10	50/ 100	nA nA (max)
f _O	Oscillator Frequency	(Note 7)	150	127/ 110 173/ 173	kHz kHz(min) kHz(max)
V _{SAT}	Saturation Voltage	I _{OUT} = 3A (Note 8) (Note 9)	1.16	1.4/ 1.5	V V(max)
DC	Max Duty Cycle (ON) Min Duty Cycle (OFF)	(Note 9) (Note 10)	100 0		%
I _{CL}	Current Limit	Peak Current, (Note 8) (Note 9)	4.5	3.6/ 3.4 6.9/ 7.5	A A(min) A(max)
I _L	Output Leakage Current	(Note 8) (Note 10) (Note 11) Output = 0V Output = -1V	2	50 30	µA(max) mA mA(max)
I _Q	Operating Quiescent Current	\overline{SD} /SS Pin Open (Note 10)	5	10	mA mA(max)

All Output Voltage Versions

Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and $V_{IN} = 24\text{V}$ for the 12V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-XX		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
DEVICE PARAMETERS					
I _{STBY}	Standby Quiescent Current	\overline{SD} /SS pin = 0V (Note 11)	80	200/250	μA μA(max)
θ _{JC}	Thermal Resistance	TO220 or TO263 Package, Junction to Case	2		°C/W
θ _{JA}		TO220 Package, Junction to Ambient (Note 12)	50		°C/W
θ _{JA}		TO263 Package, Junction to Ambient (Note 13)	50		°C/W
θ _{JA}		TO263 Package, Junction to Ambient (Note 14)	30		°C/W
θ _{JA}		TO263 Package, Junction to Ambient (Note 15)	20		°C/W
SHUTDOWN/SOFT-START CONTROL Test Circuit of <i>Figure 1</i>					
V _{SD}	Shutdown Threshold Voltage	Low, (Shutdown Mode) High, (Soft-start Mode)	1.3	0.6 2	V V(max) V(min)
V _{SS}	Soft-start Voltage	V _{OUT} = 20% of Nominal Output Voltage V _{OUT} = 100% of Nominal Output Voltage	2 3		V
I _{SD}	Shutdown Current	V _{SHUTDOWN} = 0.5V	5	10	μA μA(max)
I _{SS}	Soft-start Current	V _{Soft-start} = 2.5V	1.6	5	μA μA(max)
FLAG/DELAY CONTROL Test Circuit of <i>Figure 1</i>					
	Regulator Dropout Detector Threshold Voltage	Low (Flag ON)	96	92 98	% %(min) %(max)
V _{F SAT}	Flag Output Saturation Voltage	I _{SINK} = 3 mA V _{DELAY} = 0.5V	0.3	0.7/1.0	V V(max)
I _{F L}	Flag Output Leakage Current	V _{FLAG} = 40V	0.3		μA
	Delay Pin Threshold Voltage	Low (Flag ON) High (Flag OFF) and V _{OUT} Regulated	1.25	1.21 1.29	V V(min) V(max)
	Delay Pin Source Current	V _{DELAY} = 0.5V	3	6	μA μA(max)
	Delay Pin Saturation	Low (Flag ON)	55	350/400	mV mV(max)

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: Voltage internally clamped. If clamp voltage is exceeded, limit current to a maximum of 1 mA.

Note 3: The human body model is a 100 pF capacitor discharged through a 1.5k resistor into each pin.

Note 4: Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.

Note 5: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at **temperature extremes (bold type face)**. All room temperature limits are 100% production tested. All limits at **temperature extremes** are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

Note 6: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2599 is used as shown in the *Figure 1* test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

Note 7: The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated. The amount of reduction is determined by the severity of current overload.

Note 8: No diode, inductor or capacitor connected to output pin.

Note 9: Feedback pin removed from output and connected to 0V to force the output transistor switch ON.

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (Continued)

Note 10: Feedback pin removed from output and connected to 12V for the 3.3V, 5V, and the ADJ. version, and 15V for the 12V version, to force the output transistor switch OFF.

Note 11: $V_{IN} = 40V$.

Note 12: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the package mounted TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in^2 .

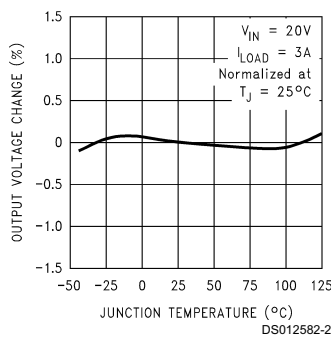
Note 13: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 0.5 in^2 of (1 oz.) copper area.

Note 14: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in^2 of (1 oz.) copper area.

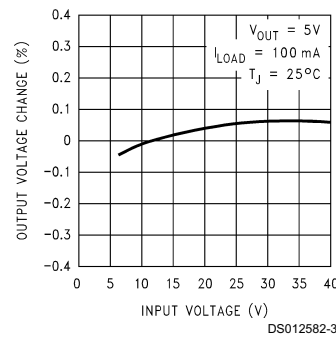
Note 15: Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in^2 of (1 oz.) copper area on the LM2599S side of the board, and approximately 16 in^2 of copper on the other side of the p-c board. See application hints in this data sheet and the thermal model in **Switchers Made Simple** version 4.2.1 (or later) software.

Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 1)

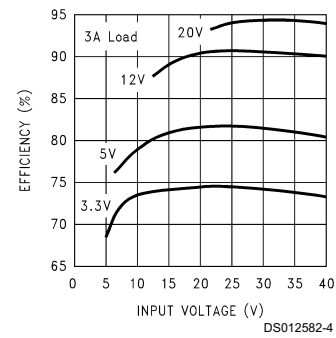
**Normalized
Output Voltage**



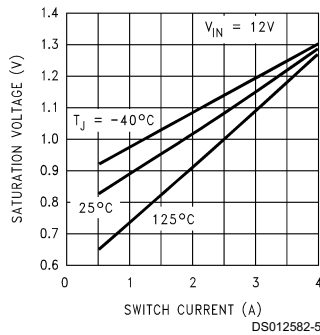
Line Regulation



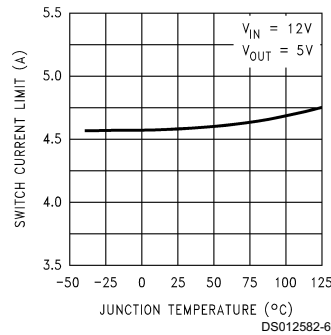
Efficiency



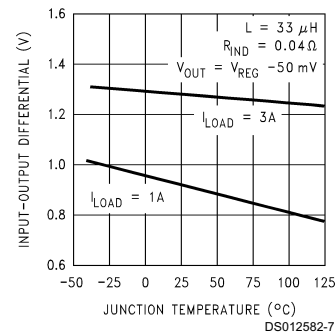
**Switch Saturation
Voltage**



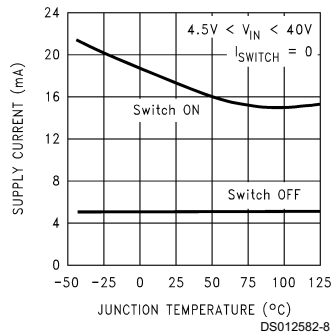
Switch Current Limit



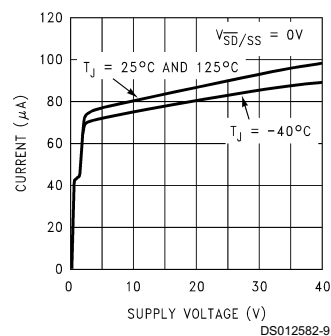
Dropout Voltage



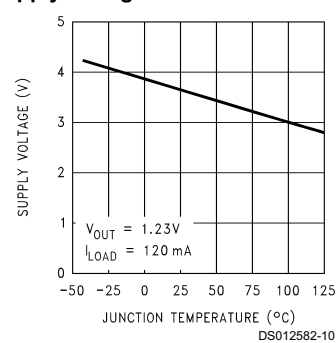
**Operating
Quiescent Current**



**Shutdown
Quiescent Current**

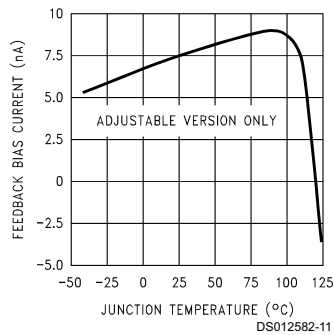


**Minimum Operating
Supply Voltage**

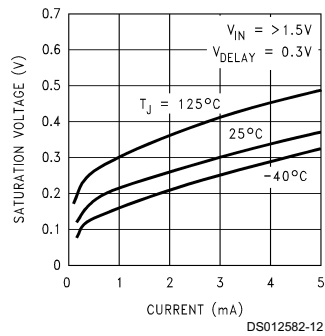


Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 1) (Continued)

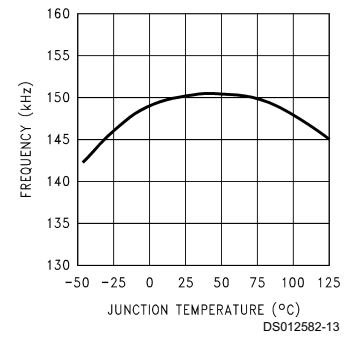
Feedback Pin Bias Current



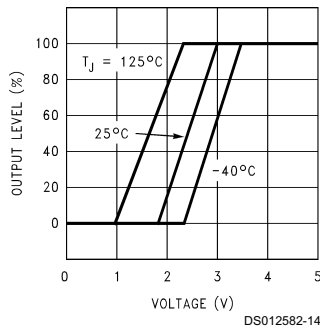
Flag Saturation Voltage



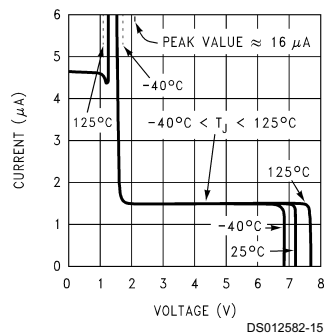
Switching Frequency



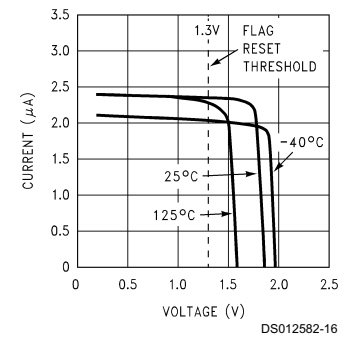
Soft-start



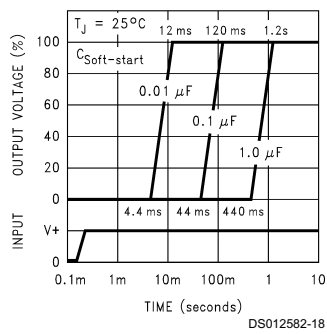
Shutdown /Soft-start Current



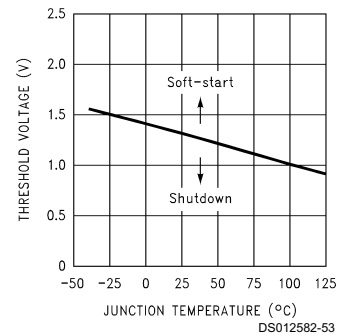
Daisy Pin Current



Soft-start Response



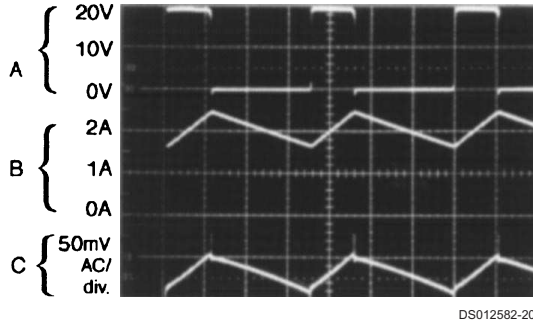
Shutdown/Soft-start Threshold Voltage



Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 1) (Continued)

Continuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 2A$
 $L = 32 \mu H$, $C_{OUT} = 220 \mu F$, $C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$

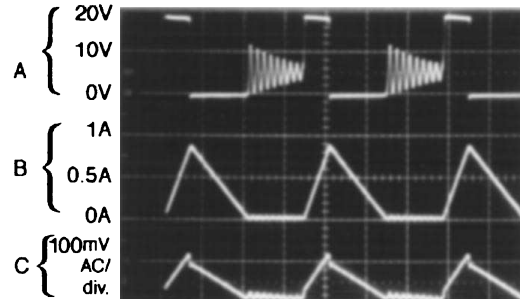


A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 1A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 50 mV/div.

Horizontal Time Base: 2 μs /div.

Discontinuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 500 mA$
 $L = 10 \mu H$, $C_{OUT} = 330 \mu F$, $C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$

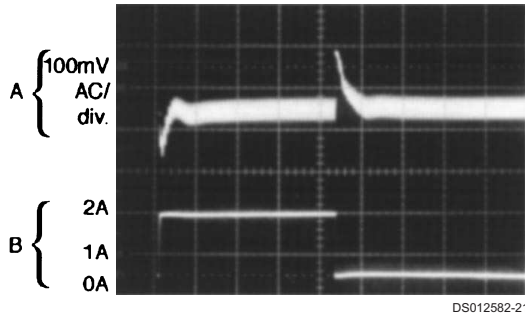


A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 0.5A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 100 mV/div.

Horizontal Time Base: 2 μs /div.

Load Transient Response for Continuous Mode

$V_{IN} = 20V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 500 mA$ to 2A
 $L = 32 \mu H$, $C_{OUT} = 220 \mu F$, $C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$

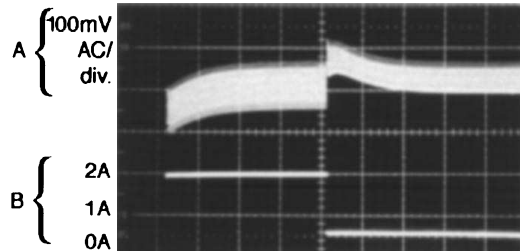


A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 50 μs /div.

Load Transient Response for Discontinuous Mode

$V_{IN} = 20V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 500 mA$ to 2A
 $L = 10 \mu H$, $C_{OUT} = 330 \mu F$, $C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$

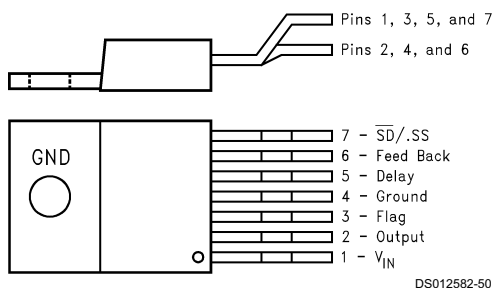


A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 200 μs /div.

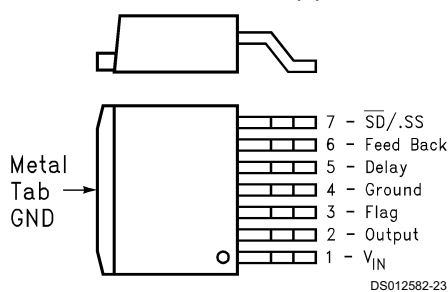
Connection Diagrams and Order Information

Bent and Staggered Leads, Through Hole Package 7-Lead TO-220 (T)



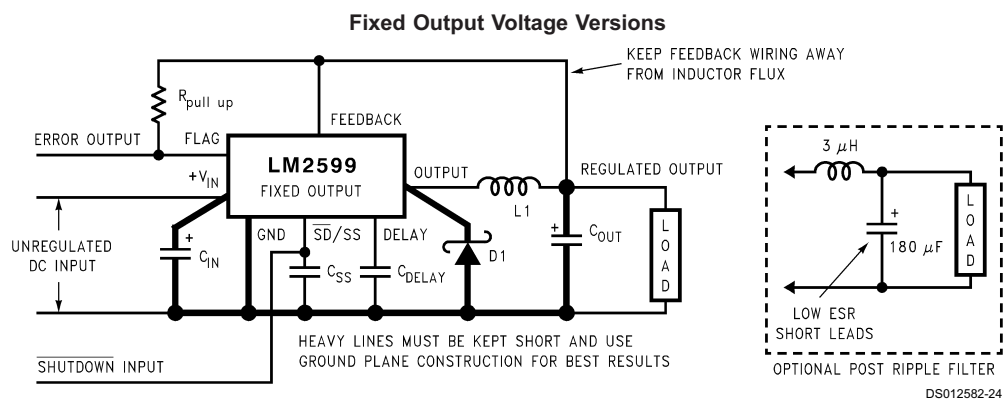
Order Number LM2599T-3.3, LM2599T-5.0,
 LM2599T-12 or LM2599T-ADJ
 See NS Package Number TA07B

Surface Mount Package 7-Lead TO-263 (S)



Order Number LM2599S-3.3, LM2599S-5.0,
 LM2599S-12 or LM2599S-ADJ
 See NS Package Number TS7B

Test Circuit and Layout Guidelines



Component Values shown are for $V_{IN} = 15V$,

$V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 3A$.

C_{IN} — 470 μ F, 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"

C_{OUT} — 220 μ F, 25V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"

D1 — 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825

L1 — 68 μ H, L38

Typical Values

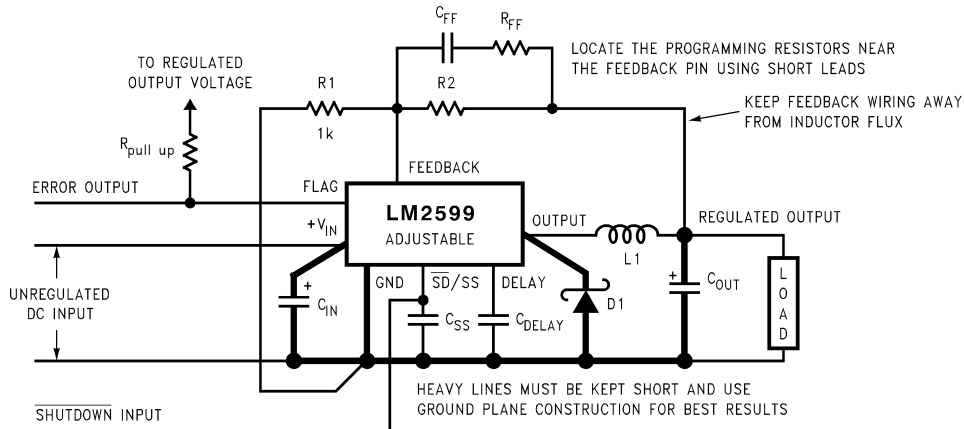
C_{SS} — 0.1 μ F

C_{DELAY} — 0.1 μ F

R_{PULL UP} — 4.7k

Test Circuit and Layout Guidelines (Continued)

Adjustable Output Voltage Versions



DS012582-25

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 kΩ, use a 1% resistor for best stability.

Component Values shown are for $V_{IN} = 20V$,

$V_{OUT} = 10V$, $I_{LOAD} = 3A$.

C_{IN} : — 470 μF, 35V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"

C_{OUT} : — 220 μF, 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"

D1 — 5A, 30V Schottky Rectifier, 1N5824

L1 — 68 μH, L38

R_1 — 1 kΩ, 1%

R_2 — 7.15k, 1%

C_{FF} — 3.3 nF, See Application Information Section

R_{FF} — 3 kΩ, See Application Information Section

Typical Values

C_{SS} — 0.1 μF

C_{DELAY} — 0.1 μF

$R_{PULL UP}$ — 4.7k

FIGURE 1. Standard Test Circuits and Layout Guides

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance can generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the wires indicated by **heavy lines** should be wide printed circuit traces and should be kept as short as possible. For best results, external components should be located as close to the switcher IC as possible using ground plane construction or single point grounding.

If **open core inductors** are used, special care must be taken as to the location and positioning of this type of inductor. Allowing the inductor flux to intersect sensitive feedback, IC groundpath and C_{OUT} wiring can cause problems.

When using the adjustable version, special care must be taken as to the location of the feedback resistors and the associated wiring. Physically locate both resistors near the IC, and route the wiring away from the inductor, especially an open core type of inductor. (See application section for more information.)

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Fixed Output)

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage (3.3V, 5V or 12V) $V_{IN(max)}$ = Maximum DC Input Voltage $I_{LOAD(max)}$ = Maximum Load Current</p> <p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Select the correct inductor value selection guide from <i>Figure 4</i>, <i>Figure 5</i>, or <i>6</i>. (Output voltages of 3.3V, 5V, or 12V respectively.) For all other voltages, see the design procedure for the adjustable version.</p> <p>B. From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by the Maximum Input Voltage line and the Maximum Load Current line. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX).</p> <p>C. Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in <i>Figure 8</i>.</p> <p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. In the majority of applications, low ESR (Equivalent Series Resistance) electrolytic capacitors between 82 μF and 820 μF and low ESR solid tantalum capacitors between 10 μF and 470 μF provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF.</p> <p>For additional information, see section on output capacitors in application information section.</p> <p>B. To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design component selection table shown in <i>Figure 2</i>. This table contains different input voltages, output voltages, and load currents, and lists various inductors and output capacitors that will provide the best design solutions.</p> <p>C. The capacitor voltage rating for electrolytic capacitors should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements for low output ripple voltage.</p> <p>D. For computer aided design software, see Switchers Made Simple (version 4.2.1 or later).</p>	<p>Given: V_{OUT} = 5V $V_{IN(max)}$ = 12V $I_{LOAD(max)}$ = 3A</p> <p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Use the inductor selection guide for the 5V version shown in <i>Figure 5</i>.</p> <p>B. From the inductor value selection guide shown in <i>Figure 5</i>, the inductance region intersected by the 12V horizontal line and the 3A vertical line is 33 μH, and the inductor code is L40.</p> <p>C. The inductance value required is 33 μH. From the table in <i>Figure 8</i>, go to the L40 line and choose an inductor part number from any of the four manufacturers shown. (In most instance, both through hole and surface mount inductors are available.)</p> <p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. See section on output capacitors in application information section.</p> <p>B. From the quick design component selection table shown in <i>Figure 2</i>, locate the 5V output voltage section. In the load current column, choose the load current line that is closest to the current needed in your application, for this example, use the 3A line. In the maximum input voltage column, select the line that covers the input voltage needed in your application, in this example, use the 15V line. Continuing on this line are recommended inductors and capacitors that will provide the best overall performance.</p> <p>The capacitor list contains both through hole electrolytic and surface mount tantalum capacitors from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturer's series that are listed in the table be used.</p> <p>In this example aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available with the range of ESR numbers needed.</p> <p>330 μF 35V Panasonic HFQ Series 330 μF 35V Nichicon PL Series</p> <p>C. For a 5V output, a capacitor voltage rating at least 7.5V or more is needed. But even a low ESR, switching grade, 220 μF 10V aluminum electrolytic capacitor would exhibit approximately 225 mΩ of ESR (see the curve in <i>Figure 16</i> for the ESR vs voltage rating). This amount of ESR would result in relatively high output ripple voltage. To reduce the ripple to 1% of the output voltage, or less, a capacitor with a higher value or with a higher voltage rating (lower ESR) should be selected. A 16V or 25V capacitor will reduce the ripple voltage by approximately half.</p>

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Fixed Output) (Continued)

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch diode current rating must be at least 1.3 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2599. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p>C. This diode must be fast (short reverse recovery time) and must be located close to the LM2599 using short leads and short printed circuit traces. Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance and efficiency, and should be the first choice, especially in low output voltage applications. Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers also provide good results. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the IN5400 series are much too slow and should not be used.</p> <p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground to prevent large voltage transients from appearing at the input. In addition, the RMS current rating of the input capacitor should be selected to be at least ½ the DC load current. The capacitor manufacturers data sheet must be checked to assure that this current rating is not exceeded. The curve shown in <i>Figure 15</i> shows typical RMS current ratings for several different aluminum electrolytic capacitor values.</p> <p>This capacitor should be located close to the IC using short leads and the voltage rating should be approximately 1.5 times the maximum input voltage.</p> <p>If solid tantalum input capacitors are used, it is recommended that they be surge current tested by the manufacturer.</p> <p>Use caution when using ceramic capacitors for input bypassing, because it may cause severe ringing at the V_{IN} pin.</p> <p>For additional information, see section on input capacitors in Application Information section.</p>	<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. Refer to the table shown in <i>Figure 11</i>. In this example, a 5A, 20V, 1N5823 Schottky diode will provide the best performance, and will not be overstressed even for a shorted output.</p> <p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>The important parameters for the Input capacitor are the input voltage rating and the RMS current rating. With a nominal input voltage of 12V, an aluminum electrolytic capacitor with a voltage rating greater than 18V ($1.5 \times V_{IN}$) would be needed. The next higher capacitor voltage rating is 25V.</p> <p>The RMS current rating requirement for the input capacitor in a buck regulator is approximately ½ the DC load current. In this example, with a 3A load, a capacitor with a RMS current rating of at least 1.5A is needed. The curves shown in <i>Figure 15</i> can be used to select an appropriate input capacitor. From the curves, locate the 35V line and note which capacitor values have RMS current ratings greater than 1.5A. A 680 µF, 35V capacitor could be used.</p> <p>For a through hole design, a 680 µF/35V electrolytic capacitor (Panasonic HFQ series or Nichicon PL series or equivalent) would be adequate. other types or other manufacturers capacitors can be used provided the RMS ripple current ratings are adequate.</p> <p>For surface mount designs, solid tantalum capacitors are recommended. The TPS series available from AVX, and the 593D series from Sprague are both surge current tested.</p>

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Fixed Output) (Continued)

Conditions			Inductor		Output Capacitor			
Output Voltage (V)	Load Current (A)	Max Input Voltage (V)	Inductance (μH)	Inductor (#)	Through Hole Electrolytic		Surface Mount Tantalum	
					Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)
3.3	3	5	22	L41	470/25	560/16	330/6.3	390/6.3
		7	22	L41	560/35	560/35	330/6.3	390/6.3
		10	22	L41	680/35	680/35	330/6.3	390/6.3
		40	33	L40	560/35	470/35	330/6.3	390/6.3
	2	6	22	L33	470/25	470/35	330/6.3	390/6.3
		10	33	L32	330/35	330/35	330/6.3	390/6.3
		40	47	L39	330/35	270/50	220/10	330/10
5	3	8	22	L41	470/25	560/16	220/10	330/10
		10	22	L41	560/25	560/25	220/10	330/10
		15	33	L40	330/35	330/35	220/10	330/10
		40	47	L39	330/35	270/35	220/10	330/10
	2	9	22	L33	470/25	560/16	220/10	330/10
		20	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
		40	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
12	3	15	22	L41	470/25	470/25	100/16	180/16
		18	33	L40	330/25	330/25	100/16	180/16
		30	68	L44	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	68	L44	180/35	180/35	100/16	120/20
	2	15	33	L32	330/25	330/25	100/16	180/16
		20	68	L38	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	150	L42	82/25	82/25	68/20	68/25

FIGURE 2. LM2599 Fixed Voltage Quick Design Component Selection Table

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage $V_{IN(max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD(max)}$ = Maximum Load Current F = Switching Frequency (<i>Fixed at a nominal 150 kHz</i>).</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2, as shown in <i>Figure 1</i>) Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \text{ where } V_{REF} = 1.23V$ <p>Select a value for R_1 between 240Ω and 1.5 kΩ. The lower resistor values minimize noise pickup in the sensitive feedback pin. (For the lowest temperature coefficient and the best stability with time, use 1% metal film resistors.)</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p>Given: $V_{OUT} = 20V$ $V_{IN(max)} = 28V$ $I_{LOAD(max)} = 3A$ F = Switching Frequency (<i>Fixed at a nominal 150 kHz</i>).</p> <p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2, as shown in <i>Figure 1</i>) Select R_1 to be 1 kΩ, 1%. Solve for R_2.</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{20V}{1.23V} - 1 \right)$ <p>$R_2 = 1k (16.26 - 1) = 15.26k$, closest 1% value is 15.4 kΩ. $R_2 = 15.4 k\Omega$.</p>

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)

(Continued)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant $E \cdot T$ ($V \cdot \mu s$), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \cdot \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \cdot \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \cdot \mu s)$ <p>where V_{SAT} = internal switch saturation voltage = 1.16V and V_D = diode forward voltage drop = 0.5V</p> <p>B. Use the $E \cdot T$ value from the previous formula and match it with the $E \cdot T$ number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in <i>Figure 7</i>.</p> <p>C. on the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>D. Identify the inductance region intersected by the $E \cdot T$ value and the Maximum Load Current value. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX).</p> <p>E. Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in <i>Figure 8</i>.</p> <p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. In the majority of applications, low ESR electrolytic or solid tantalum capacitors between 82 μF and 820 μF provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF. For additional information, see section on output capacitors in application information section.</p> <p>B. To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design table shown in <i>Figure 3</i>. This table contains different output voltages, and lists various output capacitors that will provide the best design solutions.</p> <p>C. The capacitor voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements needed for low output ripple voltage.</p> <p>4. Feedforward Capacitor (C_{FF}) (See <i>Figure 1</i>)</p> <p>For output voltages greater than approximately 10V, an additional capacitor is required. The compensation capacitor is typically between 100 pF and 33 nF, and is wired in parallel with the output voltage setting resistor, R_2. It provides additional stability for high output voltages, low input-output voltages, and/or very low ESR output capacitors, such as solid tantalum capacitors.</p> $C_{FF} = \frac{1}{31 \times 10^3 \times R_2}$ <p>This capacitor type can be ceramic, plastic, silver mica, etc. (Because of the unstable characteristics of ceramic capacitors made with Z5U material, they are not recommended.)</p>	<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant ($E \cdot T$),</p> $E \cdot T = (28 - 20 - 1.16) \cdot \frac{20 + 0.5}{28 - 1.16 + 0.5} \cdot \frac{1000}{150} (V \cdot \mu s)$ $E \cdot T = (6.84) \cdot \frac{20.5}{27.34} \cdot 6.67 (V \cdot \mu s) = 34.2 (V \cdot \mu s)$ <p>B. $E \cdot T = 34.2 (V \cdot \mu s)$</p> <p>C. $I_{LOAD(max)} = 3A$</p> <p>D. From the inductor value selection guide shown in <i>Figure 7</i>, the inductance region intersected by the 34 ($V \cdot \mu s$) horizontal line and the 3A vertical line is 47 μH, and the inductor code is L39.</p> <p>E. From the table in <i>Figure 8</i>, locate line L39, and select an inductor part number from the list of manufacturers part numbers.</p> <p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. See section on C_{OUT} in Application Information section.</p> <p>B. From the quick design table shown in <i>Figure 3</i>, locate the output voltage column. From that column, locate the output voltage closest to the output voltage in your application. In this example, select the 24V line. Under the output capacitor section, select a capacitor from the list of through hole electrolytic or surface mount tantalum types from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturers series that are listed in the table be used.</p> <p>In this example, through hole aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available.</p> <p>220/35 Panasonic HFQ Series</p> <p>150/35 Nichicon PL Series</p> <p>C. For a 20V output, a capacitor rating of at least 30V or more is needed. In this example, either a 35V or 50V capacitor would work. A 50V rating was chosen because it has a lower ESR which provides a lower output ripple voltage.</p> <p>Other manufacturers or other types of capacitors may also be used, provided the capacitor specifications (especially the 100 kHz ESR) closely match the types listed in the table. Refer to the capacitor manufacturers data sheet for this information.</p> <p>4. Feedforward Capacitor (C_{FF})</p> <p>The table shown in <i>Figure 3</i> contains feed forward capacitor values for various output voltages. In this example, a 560 pF capacitor is needed.</p>

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)

(Continued)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p>5. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch diode current rating must be at least 1.3 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2599. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p>C. This diode must be fast (short reverse recovery time) and must be located close to the LM2599 using short leads and short printed circuit traces. Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance and efficiency, and should be the first choice, especially in low output voltage applications. Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers are also a good choice, but some types with an abrupt turn-off characteristic may cause instability or EMI problems. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the 1N4001 series are much too slow and should not be used.</p> <p>6. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground to prevent large voltage transients from appearing at the input. In addition, the RMS current rating of the input capacitor should be selected to be at least ½ the DC load current. The capacitor manufacturers data sheet must be checked to assure that this current rating is not exceeded. The curve shown in <i>Figure 15</i> shows typical RMS current ratings for several different aluminum electrolytic capacitor values.</p> <p>This capacitor should be located close to the IC using short leads and the voltage rating should be approximately 1.5 times the maximum input voltage.</p> <p>If solid tantalum input capacitors are used, it is recommended that they be surge current tested by the manufacturer.</p> <p>Use caution when using a high dielectric constant ceramic capacitor for input bypassing, because it may cause severe ringing at the V_{IN} pin.</p> <p>For additional information, see section on input capacitor in application information section.</p>	<p>5. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. Refer to the table shown in <i>Figure 11</i>. Schottky diodes provide the best performance, and in this example a 3A, 40V, 1N5825 Schottky diode would be a good choice. The 3A diode rating is more than adequate and will not be overstressed even for a shorted output.</p> <p>6. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>The important parameters for the Input capacitor are the input voltage rating and the RMS current rating. With a nominal input voltage of 28V, an aluminum electrolytic capacitor with a voltage rating greater than 42V (1.5 x V_{IN}) would be needed. Since the next higher capacitor voltage rating is 50V, a 50V capacitor should be used. The capacitor voltage rating of (1.5 x V_{IN}) is a conservative guideline, and can be modified somewhat if desired.</p> <p>The RMS current rating requirement for the input capacitor of a buck regulator is approximately ½ the DC load current. In this example, with a 3A load, a capacitor with a RMS current rating of at least 1.5A is needed.</p> <p>The curves shown in <i>Figure 15</i> can be used to select an appropriate input capacitor. From the curves, locate the 50V line and note which capacitor values have RMS current ratings greater than 1.5A. Either a 470 µF or 680 µF, 50V capacitor could be used.</p> <p>For a through hole design, a 680 µF/50V electrolytic capacitor (Panasonic HFQ series or Nichicon PL series or equivalent) would be adequate. Other types or other manufacturers capacitors can be used provided the RMS ripple current ratings are adequate.</p> <p>For surface mount designs, solid tantalum capacitors can be used, but caution must be exercised with regard to the capacitor surge current rating (see Application Information or input capacitors in this data sheet). The TPS series available from AVX, and the 593D series from Sprague are both surge current tested.</p> <p><i>To further simplify the buck regulator design procedure, National Semiconductor is making available computer design software to be used with the Simple Switcher line of switching regulators. Switchers Made Simple (version 4.2.1 or later) is available on a 3½" diskette for IBM compatible computers.</i></p>

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)

(Continued)

Output Voltage (V)	Through Hole Output Capacitor			Surface Mount Output Capacitor		
	Panasonic HFQ Series ($\mu\text{F/V}$)	Nichicon PL Series ($\mu\text{F/V}$)	Feedforward Capacitor	AVX TPS Series ($\mu\text{F/V}$)	Sprague 595D Series ($\mu\text{F/V}$)	Feedforward Capacitor
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

FIGURE 3. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure

INDUCTOR VALUE SELECTION GUIDES (For Continuous Mode Operation)

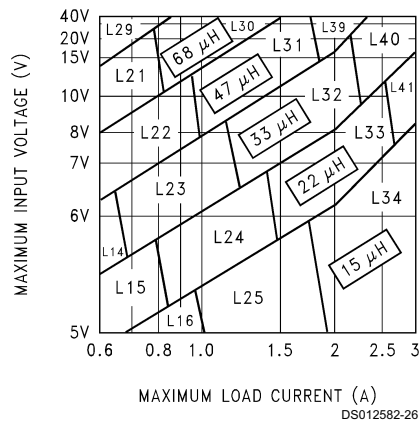


FIGURE 4. LM2599-3.3

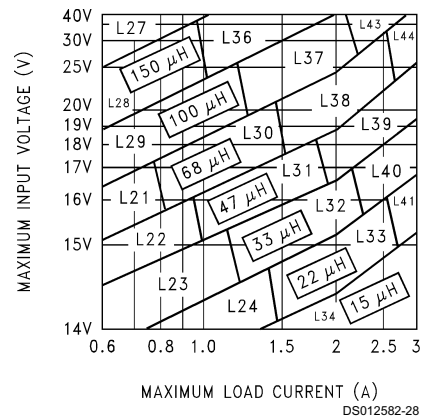


FIGURE 6. LM2599-12

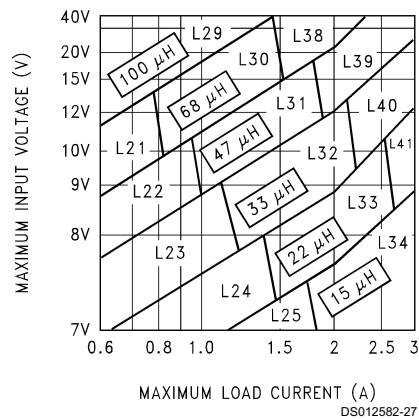


FIGURE 5. LM2599-5.0

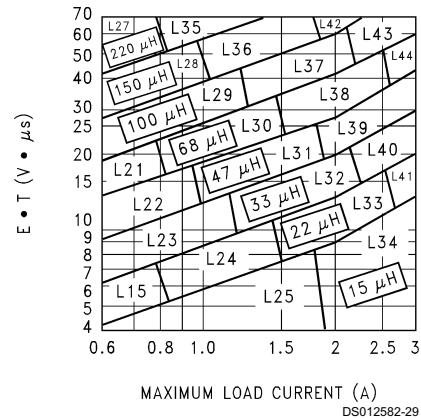


FIGURE 7. LM2599-ADJ

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

	Inductance (μ H)	Current (A)	Schott		Renco		Pulse Engineering		Coilcraft
			Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Surface Mount
L15	22	0.99	67148350	67148460	RL-1284-22-43	RL1500-22	PE-53815	PE-53815-S	DO3308-223
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683
L22	47	1.17	67144080	67144460	RL-5471-6	—	PE-53822	PE-53822-S	DO3316-473
L23	33	1.40	67144090	67144470	RL-5471-7	—	PE-53823	PE-53823-S	DO3316-333
L24	22	1.70	67148370	67148480	RL-1283-22-43	—	PE-53824	PE-53825-S	DO3316-223
L25	15	2.1	67148380	67148490	RL-1283-15-43	—	PE-53825	PE-53824-S	DO3316-153
L26	330	0.80	67144100	67144480	RL-5471-1	—	PE-53826	PE-53826-S	DOS022P-334
L27	220	1.00	67144110	67144490	RL-5471-2	—	PE-53827	PE-53827-S	DOS022P-224
L28	150	1.20	67144120	67144500	RL-5471-3	—	PE-53828	PE-53828-S	DOS022P-154
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4	—	PE-53829	PE-53829-S	DOS022P-104
L30	68	1.78	67144140	67144520	RL-5471-5	—	PE-53830	PE-53830-S	DOS022P-683
L31	47	2.2	67144150	67144530	RL-5471-6	—	PE-53831	PE-53831-S	DOS022P-473
L32	33	2.5	67144160	67144540	RL-5471-7	—	PE-53932	PE-53932-S	DOS022P-333
L33	22	3.1	67148390	67148500	RL-1283-22-43	—	PE-53933	PE-53933-S	DOS022P-223
L34	15	3.4	67148400	67148790	RL-1283-15-43	—	PE-53934	PE-53934-S	DOS022P-153
L35	220	1.70	67144170	—	RL-5473-1	—	PE-53935	PE-53935-S	—
L36	150	2.1	67144180	—	RL-5473-4	—	PE-54036	PE-54036-S	—
L37	100	2.5	67144190	—	RL-5472-1	—	PE-54037	PE-54037-S	—
L38	68	3.1	67144200	—	RL-5472-2	—	PE-54038	PE-54038-S	—
L39	47	3.5	67144210	—	RL-5472-3	—	PE-54039	PE-54039-S	—
L40	33	3.5	67144220	67148290	RL-5472-4	—	PE-54040	PE-54040-S	—
L41	22	3.5	67144230	67148300	RL-5472-5	—	PE-54041	PE-54041-S	—
L42	150	2.7	67148410	—	RL-5473-4	—	PE-54042	PE-54042-S	—
L43	100	3.4	67144240	—	RL-5473-2	—	PE-54043	—	—
L44	68	3.4	67144250	—	RL-5473-3	—	PE-54044	—	—

FIGURE 8. Inductor Manufacturers Part Numbers

Coilcraft Inc.	Phone	(800) 322-2645
	FAX	(708) 639-1469
Coilcraft Inc., Europe	Phone	+11 1236 730 595
	FAX	+44 1236 730 627
Pulse Engineering Inc.	Phone	(619) 674-8100
	FAX	(619) 674-8262
Pulse Engineering Inc., Europe	Phone	+353 93 24 107
	FAX	+353 93 24 459
Renco Electronics Inc.	Phone	(800) 645-5828
	FAX	(516) 586-5562
Schott Corp.	Phone	(612) 475-1173
	FAX	(612) 475-1786

FIGURE 9. Inductor Manufacturers Phone Numbers

LM2599 Series Buck Regulator Design Procedure (Continued)

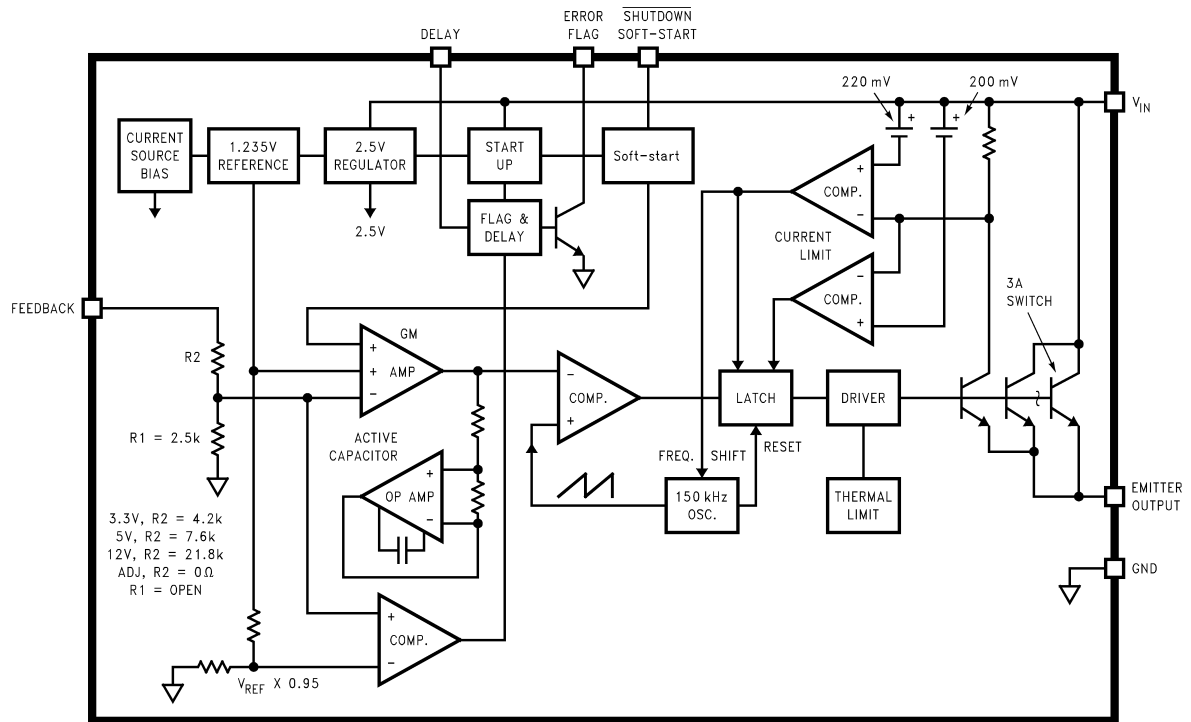
Nichicon Corp.	Phone	(708) 843-7500
	FAX	(708) 843-2798
Panasonic	Phone	(714) 373-7857
	FAX	(714) 373-7102
AVX Corp.	Phone	(803) 448-9411
	FAX	(803) 448-1943
Sprague/Vishay	Phone	(207) 324-4140
	FAX	(207) 324-7223

FIGURE 10. Capacitor Manufacturers Phone Numbers

VR	3 Amp Diodes				4 to 6 Amp Diodes			
	Surface Mount		Through Hole		Surface Mount		Through Hole	
	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery
20V		All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
	SK32		SR302				1N5823	
			MBR320				SB520	
30V	30WQ03		1N5821					
	SK33		MBR330		50WQ03		SR503	
			31DQ03				1N5824	
40V			1N5822				SB530	
	SK34		SR304		50WQ04		SR504	
	MBRS340		MBR340				1N5825	
	30WQ04		31DQ04				SB540	
50V or more	SK35	MURS320 30WF10	SR305	MUR320		MURS620 50WF10		MUR620 HER601
	MBRS360		MBR350		50WQ05		SB550	
	30WQ05		31DQ05				50SQ080	

FIGURE 11. Diode Selection Table

Block Diagram



DS012582-30

FIGURE 12.

Application Information

PIN FUNCTIONS

+V_{IN} (Pin 1)—This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator.

Ground (Pin 4)—Circuit ground.

Output (Pin 2)—Internal switch. The voltage at this pin switches between approximately $(+V_{IN} - V_{SAT})$ and approximately $-0.5V$, with a duty cycle of V_{OUT}/V_{IN} . To minimize coupling to sensitive circuitry, the PC board copper area connected to this pin should be kept to a minimum.

Feedback (Pin 6)—Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.

Shutdown /Soft-start (Pin 7)—This dual function pin provides the following features: (a) Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 μA . (b) Adding a capacitor to this pin provides a soft-start feature which minimizes startup current and provides a controlled ramp up of the output voltage.

Error Flag (Pin 3)—Open collector output that provides a low signal (flag transistor ON) when the regulated output voltage drops more than 5% from the nominal output voltage. On start up, Error Flag is low until V_{OUT} reaches 95% of the nominal output voltage and a delay time determined by the Delay pin capacitor. This signal can be used as a reset to a microprocessor on power-up.

Delay (Pin 5)—At power-up, this pin can be used to provide a time delay between the time the regulated output voltage reaches 95% of the nominal output voltage, and the time the error flag output goes high.

Special Note If any of the above three features (Shutdown /Soft-start, Error Flag, or Delay) are not used, the respective pins should be left open.

EXTERNAL COMPONENTS

SOFT-START CAPACITOR

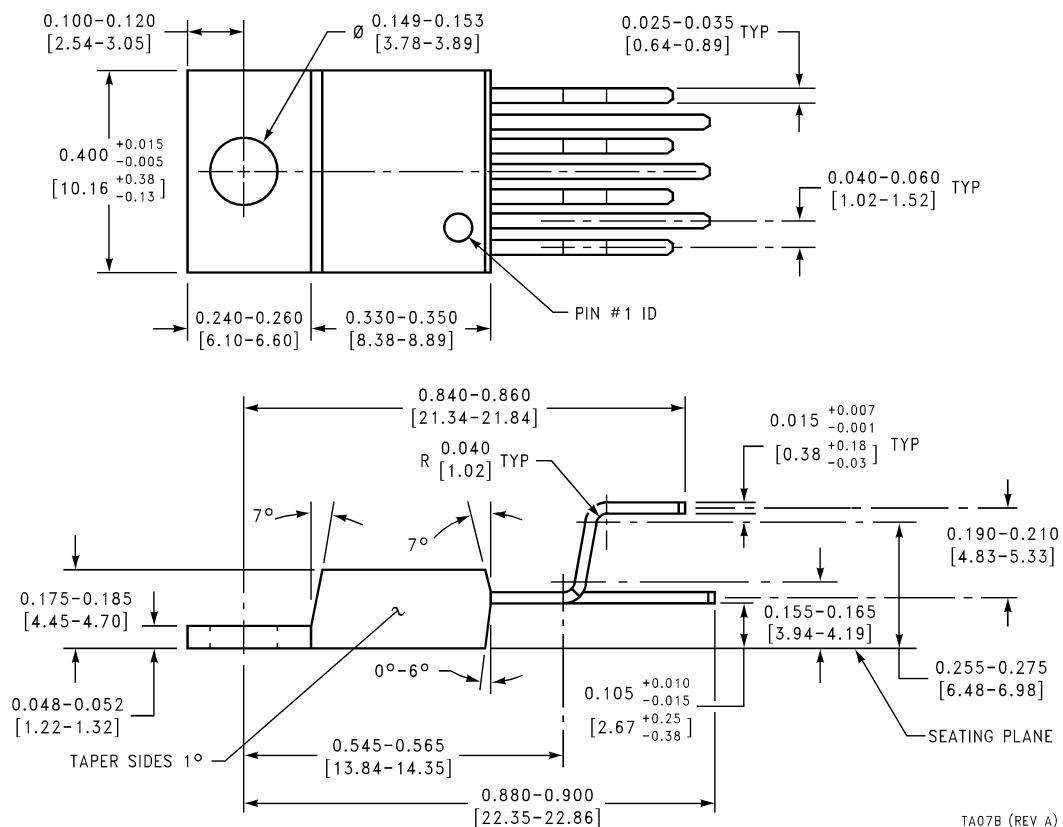
C_{SS} — A capacitor on this pin provides the regulator with a Soft-start feature (slow start-up). When the DC input voltage is first applied to the regulator, or when the Shutdown /Soft-start pin is allowed to go high, a constant current (approximately 5 μA) begins charging this capacitor). As the capacitor voltage rises, the regulator goes through four operating regions (See the bottom curve in Figure 13).

1. Regulator in Shutdown. When the \overline{SD} /SS pin voltage is between 0V and 1.3V, the regulator is in shutdown, the output voltage is zero, and the IC quiescent current is approximately 85 μA .

2. Regulator ON, but the output voltage is zero. With the \overline{SD} /SS pin voltage between approximately 1.3V and 1.8V, the internal regulator circuitry is operating, the quiescent current rises to approximately 5 mA, but the output voltage is still zero. Also, as the 1.3V threshold is exceeded, the Soft-start capacitor charging current decreases from 5 μA down to approximately 1.6 μA . This decreases the slope of capacitor voltage ramp.

3. Soft-start Region. When the \overline{SD} /SS pin voltage is between 1.8V and 2.8V (@ 25°C), the regulator is in a Soft-start condition. The switch (Pin 2) duty cycle initially starts out very low, with narrow pulses and gradually get wider as the capacitor \overline{SD} /SS pin ramps up towards 2.8V. As the duty cycle increases, the output voltage also increases at a controlled ramp up. See the center curve in Figure 13. The input supply current requirement also starts out at a low level for

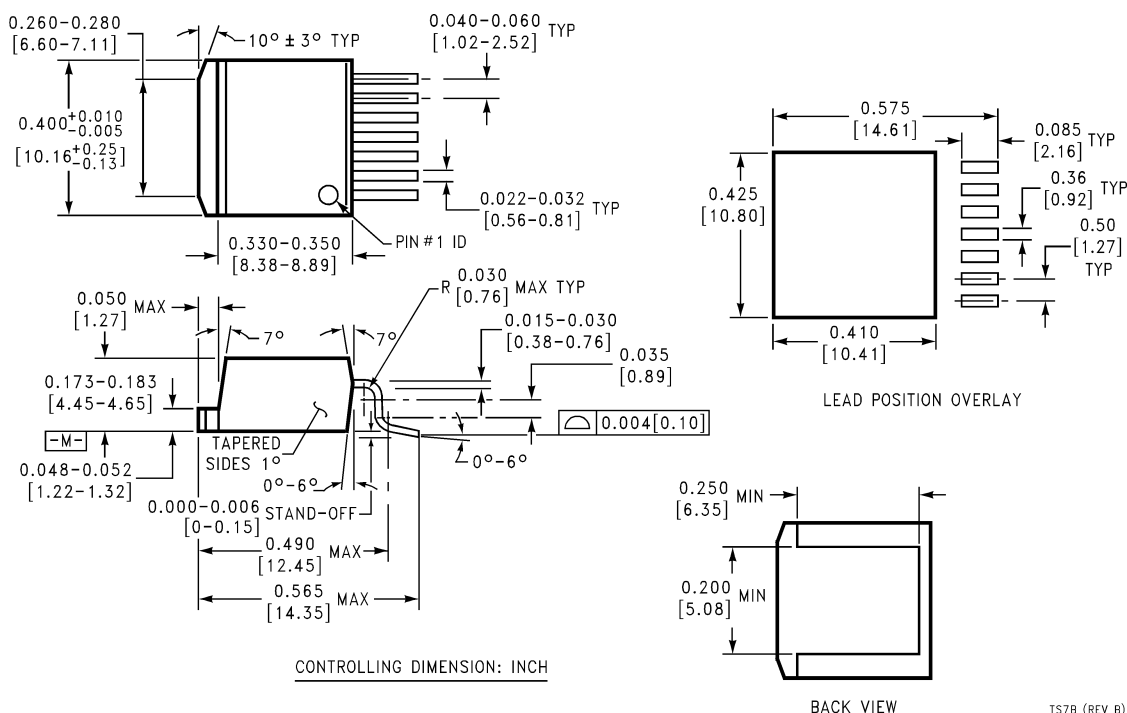
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



TA07B (REV A)

7-Lead TO-220 Bent and Staggered Package
Order Number LM2599T-3.3, LM2599T-5.0,
LM2599T-12 or LM2599T-ADJ
NS Package Number TA07B

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



7-Lead TO-263 Bent and Formed Package
Order Number LM2599S-3.3, LM2599S-5.0, LM2599S-12 or LM2599S-ADJ
NS Package Number TS7B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, (b) intended to sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507



Eurobot 2009

Temples of Atlantis



Rules 2009



Temples of Atlantis

*The robot who builds the tallest columns and temples
will be declared the winner.*



Rules 2009

Table of Contents

1. Introduction.....	4
2. General notes.....	5
2.1. Rules scope	5
2.2. Event schedule.....	5
2.3. Refereeing	5
3. The 2009 theme	6
3.1. The theme	6
3.2. Playing elements	7
3.2.1. Tolerances.....	8
3.2.2. Limitation of controlled elements	8
3.2.3. Constructions	8
3.3. Playing area	9
3.3.1. Tolerances.....	10
3.3.2. Starting zones.....	10
3.3.3. Borders.....	10
3.3.4. Beacon supports.....	10
3.4. Building areas	11
3.5. Dispensing zones.....	12
3.5.1. Column element dispensers	13
3.5.2. Lintel storage	13
3.5.3. Pre-loaded lintel	14
3.5.4. Free elements	14
3.6. Scoring.....	15
3.6.1. Game points.....	16
3.6.2. Destruction compensation.....	17
3.6.3. Penalties.....	17
3.6.4. Match points	17
4. The robots.....	18
4.1. General conditions	18
4.2. Robot dimensions.....	18
4.3. Visibility.....	19
4.4. Limitations.....	19
4.4.1. Fair-play	19
4.4.2. Limitation of controlled game elements.....	20
4.4.3. Usage of fans.....	20
4.5. Mandatory equipments	20
4.5.1. Starting cord	20
4.5.2. Emergency stop button	20
4.5.3. Automatic shut down.....	21
4.5.4. Obstacle avoidance system.....	21
4.5.5. Robot localization beacon support.....	21
4.5.6. Technical poster.....	21



Rules 2009

4.6.	Energy sources	22
4.7.	Control systems	22
4.8.	Safety	23
4.8.1.	On-board voltage	23
4.8.2.	Lasers	23
4.8.3.	Powerful lights	24
4.8.4.	Compressed air systems	24
4.9.	Other systems	25
5.	Beacons	26
5.1.	General comments	26
5.2.	Robot localization beacon	27
5.3.	Fixed beacons	27
5.4.	Communication signals	27
6.	Match timeline	28
6.1.	Robot identification	28
6.2.	Starting procedure	28
6.3.	Match sequence	29
6.4.	Calculation of the score	29
6.4.1.	Game points	29
6.4.2.	Penalty points	29
6.4.3.	Match points	30
6.4.4.	Scratch and match disqualification	30
6.4.5.	Competition disqualification	30
7.	Competition phases	31
7.1.	Approval phase	31
7.1.1.	Physical examination and team interview	31
7.1.2.	Practical trials	31
7.1.3.	Modifications after approval	32
7.2.	Qualification rounds	32
7.3.	Final round	32
8.	Appendix A - Playing area and elements specifications	34
8.1.	Tolerances	34
8.2.	Technical drawings of the table and the playing elements	34
8.3.	References of the paints	35
9.	Appendix B - Random cards	36
10.	Appendix C - Technical drawings	39



1. Introduction

Eurobot is an amateur robotics contest open to groups of young people from around the world, organised in teams. These teams could be formed from students as part of their studies or as independent clubs or non-profit organizations. A team must be made up of two or more active participants. Team members may be up to 30 years old, each team may have one supervisor for which this age limit does not apply.

The aims of the contest are to favour the public interest in robotics and encourage hands-on practice of science by young people. Eurobot is intended to take place in a friendly and sporting spirit.

More than a simple championship for young people or a competition, Eurobot is a friendly opportunity to unleash technical imagination and exchange ideas, know-how, hints and engineering knowledge around a common challenge. Creativity and interdisciplinary is necessary. Eurobot values fair play, solidarity, creativity and sharing of technical knowledge, whether it is across technical realisations or project management.

Eurobot takes place in Europe, but is open to teams from other continents. Countries with more than three teams interested in participating must organise a national qualification in order to select the three teams which will participate to Eurobot finals. The selection will typically include the two best teams (in terms of competition score), but it is left to each national organisation committee to agree on a possible alternative to competition for selecting its last team. For example, the third team can be chosen by a jury according to other qualities valued by the contest, such as: best concept, most creative, fair-play, etc. Note that for countries failing to establish a national qualification event, but with more than 3 teams registered to Eurobot, the refereeing committee will accept only the three teams to the event, selecting based on the order of registration.

Eurobot was born in 1998, in the wake of the French Cup of Robotics, following the constitution of a similar competition in Switzerland. To deal with the expansion of the contest and to maintain the original spirit of exchange and cooperation between the different organisers, an association was founded.

This association, officially born on May 24th 2004, is named EUROBOT. You can find its statutes on our website (www.eurobot.org). Individuals or organisations sharing our values are most welcome to support us either financially, or by joining us as volunteers in one of the different organising groups.

Eurobot and the national qualifications are prepared with passion throughout the year by persons of many nationalities, volunteers for most of them, which believe in the educational values of this experience and are themselves, often former participants.

Welcome!

And have a nice adventure!



2. General notes

2.1. Rules scope

The following rules apply to all national qualifications and to the finale of the 2009 edition of the Eurobot autonomous robots competition.

In addition, Eurobot Association has the right to issue more detailed specifications and restrictions to the rules for a specific country (based on its National organizer request), and the teams competing in that country have to adhere them. We would like to alert the teams that this applies both to their local cups as well to the international finale - all teams which promote to the finale have to meet the specifications issued for the country where the finale is held; if they do not follow them, they would not be allowed to compete. As an advice, it would be very wise to study this before the works on the robot start and build the robot in conformance with both local country and current year finale country additions.

2.2. Event schedule

The qualified teams from the national cups of Algeria, Austria, Belgium, Czech Republic, France, Germany, Great Britain, Italy, Romania, Russia, Serbia, Spain, Switzerland and of all other new national qualifications born in 2009, will meet their international counterparts (multinational teams and teams from countries without qualifications) during the Eurobot final from **Wednesday, May 20th to Sunday, May 24th, 2009, in the city of La Ferté Bernard (France).**

It is important to note that most of the national competitions, within the limits of their means, are opened to the foreign teams. Moreover, numerous teams organize their own friendly competitions. Multinational teams are obviously very welcome.

2.3. Refereeing

Each match is supervised by two referees. For all the matches of the Eurobot finals, at least one of the two referees will be from a country different from both of the competing teams.

The referees are intended to interpret and apply the rules during the approvals and the competition but they are also there to help the teams, by clarifying points for instance. You are encouraged to contact the referees with questions about the rules or the competition process.

Participating to the competition implies the acceptance of the rules and the interpretations of them made by the refereeing committee throughout the year and by the referees during competition matches. The referees' decisions are final and may not be challenged.



3. The 2009 theme

3.1. The theme

After playing rugby, bowling, sorting rubbish and collecting samples on Mars, this year we are going back in time and travelling to Atlantis. Our robots will become builders and will help the people from Atlantis to build wonderful temples of which we could today visit the ruins... if we had discovered where Atlantis is hidden. As many antique temples, the buildings are made of columns with lintels connecting them to top up the construction. Moreover, in order for their buildings to be closer to the gods, the Atlantean people built them on the highest hills of their continent.

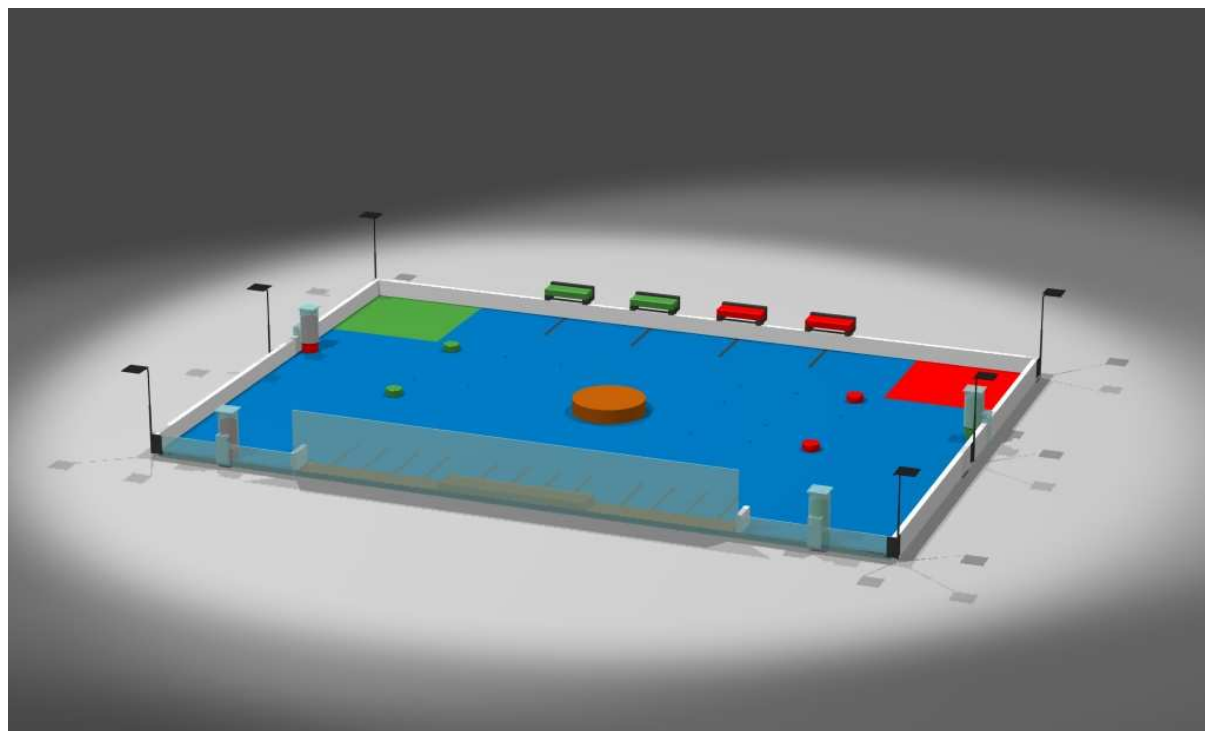
The matches involve two teams, one playing green, and the other red. Each team may enter only one temple building robot. The robot that builds the tallest temples will be the winner. **The matches last 90 seconds.**

The robots begin in the starting zones of their colour, located in one of the back corners of the table. The coloured playing elements are available for the robots in different places on the table, either on the ground in predefined positions or in dedicated dispensers. The constructions must be built in one of the several scoring zones, determined by a colour different from the rest of the table. The scoring zones are placed in levels of different heights. The points are given according to the height of the buildings, their composition as well as to the height of the zone where they were built.


It is important to note that this year's theme orients towards construction, and as a consequence, any action of destruction (intentional or not) will be penalised.



Rules 2009



All drawings of this document are designed with SolidWorks software



Please note that the name and description of this year's theme are simply a fanciful title for what is, in essence, a scientific and educational competition, whose main theme is autonomous mobile robotics, not Atlantis. We do not endorse any particular views on the subject of Atlantis, nor do we wish to offend anyone by this choice of theme. Any connection to existing persons, organisations or works involving Atlantis is not intentional.

3.2. Playing elements

The playing elements for this year's theme are the building elements for temple construction:

- The **column elements** are wooden cylinders 30 mm high with a diameter of 70 mm. They weigh approximately 100 gr.
- The **lintels** are wooden boxes which are 200 mm long, 70 mm wide and 30 mm high. They weigh approximately 300 gr.
- All elements are cut with a slight chamfer along all edges, 2 mm cut at 45°.



Rules 2009

The elements are painted in the team colours. The references of the colours are given in section “*References of the paints*” on page 35.

The following building elements are available in the dispensing zones (for details about these zones, refer to *Dispensing zones* on page 12) :

- 16 red column elements,
- 16 green column elements,
- 2 red lintels and one optional pre-loaded red lintel,
- 2 green lintels and one optional pre-loaded green lintel.

3.2.1. Tolerances

As detailed in paragraph “*Tolerances*” on page 4, the tolerances for playing field element construction are 5% of each dimension.

3.2.2. Limitation of controlled elements

The robots can control at maximum **4 column elements** at a time.

Controlling a playing element by a robot means directly and intentionally influencing its trajectory through the robot's motion. This rule applies to all the robot's mechanisms, regardless of whether the manipulation is internal or external.

The number of carried **lintels** is **not limited**. However, the robot may only carry lintels of its own colour.

The teams are encouraged to make all the carried elements visible from the outside. The aim of this advice is pedagogic above all, allowing the public and other contestants to see how the actions of the robot are carried out.

3.2.3. Constructions

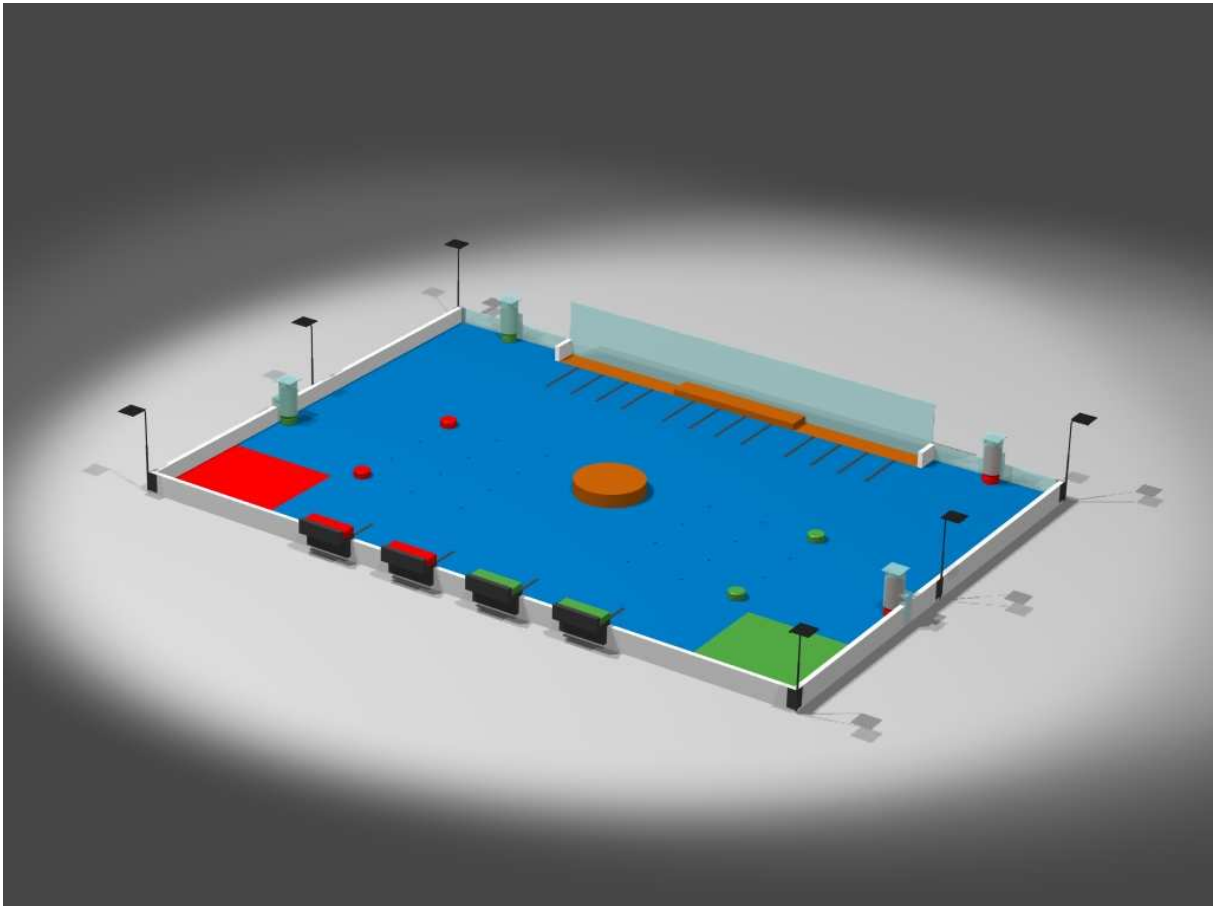
The constructions made by the robots may be:

- **Columns:** simple stacks of the cylindrical column elements; it is important to note that a single column element is considered as the beginning of a column.
- **Temples:** constructions composed of two columns linked by a lintel

The columns as well as the temples can be made of elements of different colours, each of them being added to the score of the corresponding team, according to the rules detailed in paragraph “*Scoring*” on page 15.

In order for points to be awarded, the buildings must be constructed within defined areas, detailed in paragraph “*Building areas*” page 11.

3.3. Playing area



The playing field is **2100 mm** wide and **3000 mm** long. It is shown in blue in the diagram above.

The building zone is composed of:

- two parts at the table level, along the front side of the table, facing the public,
- one central raised part, along the front side of the table, facing the public,
- one circular raised part located at the exact centre of the table

All building zones are common to both teams. Only constructions whose base is entirely contained in them will be counted in the scoring. More details about building zones can be found in paragraph “*Building areas*” page 11.

Several element dispensers represent the stonemason's workshops. They are detailed in paragraphs “*Column element dispensers*” on page 13 and “*Lintel storage*” on page 13.



Rules 2009

3.3.1. Tolerances

The tolerances for playing area construction are **2%** of each dimension for **physical characteristics** and **10%** (of the containing playing area dimension) with respect to **painted markings**.

3.3.2. Starting zones

The starting zones are placed in the back corners of the table. Each zone is a **500 mm** square, painted in the colour of the team (red or green). At the beginning of the match, the robots must be placed **fully contained** within these zones. This means that the vertical projection of the robot's convex envelope must fully fit into the starting zone.

No obligation is made for the robots to be in contact with the table borders.

3.3.3. Borders

The borders of the table are **70 mm** high (above the table level) and **22 mm** wide.

The front border consists of two parts:

- a low part similar to the three other borders, but made of Plexiglas so that the public can see the robots extracting the elements from the dispensers
- above the front scoring areas, a **250 mm** high Plexiglas plate, allowing the public to see all the constructions made by the robots and which may also be used as a support for building the constructions.

The exact thickness of the Plexiglas border is not specified, and will be dependant on the available supply in each country. So do not make any assumption related to this point, and do not design your robot in a way which could be impacted by it. No protest will be taken in consideration on this topic by the referees.

The borders are painted in white (except the Plexiglas, of course).

For compliance to safety rules and in order to prevent laser beams to go outside the table, the Plexiglas plates will be masked from the level of the table up to **30 mm** high. This will be done by opaque black adhesive tape.

3.3.4. Beacon supports

Robots can make use of beacons to help in localization, game elements dispensers docking,... These beacons are detailed in section "Beacons" on page 26. If used, the beacons must be placed on dedicated supports.

All supports are **80 mm** square platforms. The platform is covered with Velcro (rough "hook" side).

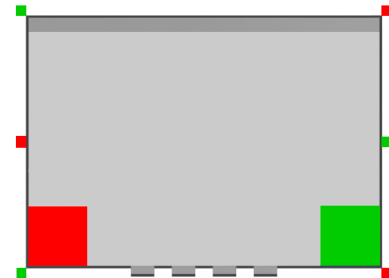


Rules 2009

Two kinds of supports are available :

Terrain supports

- 6 of them are available
- they are placed **350 mm** above the table level
- They are located at the table angles and in the middle of each of the shorter sides,
- Assignment to the teams is illustrated by the drawing on the right
- They are entirely painted in black



Dispenser beacon supports

- 4 of them are available
- They are placed on top of the column element dispensers
- They are assigned to the team based on the colour of the column elements contained in the dispenser.
- They can be made of Plexiglas, like the dispensers themselves.

All the dimensions are detailed in the technical drawings.

3.4. Building areas

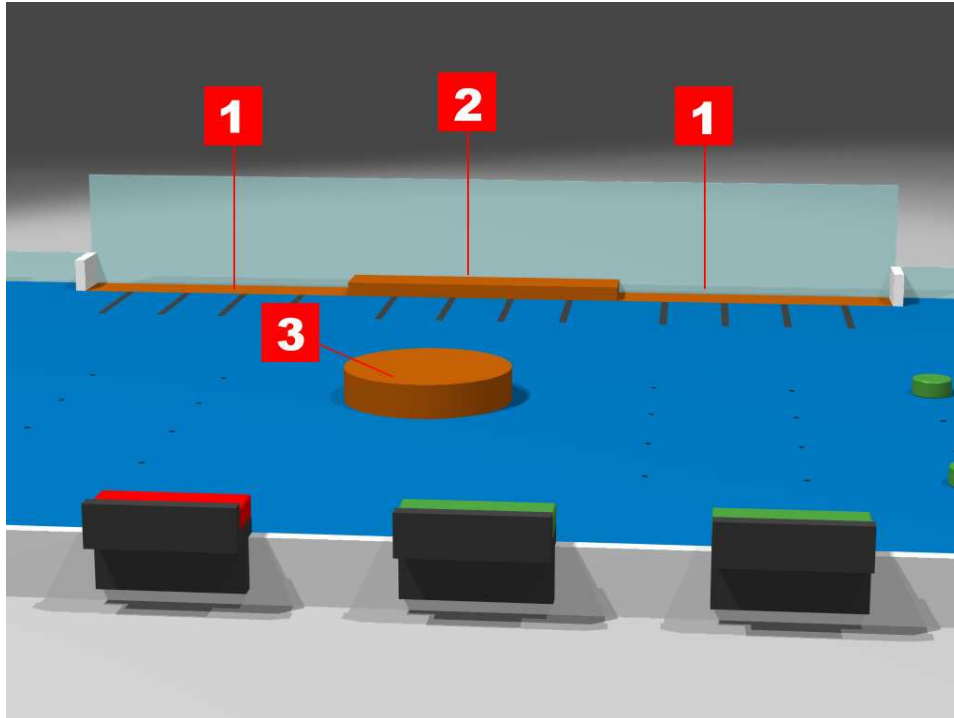
To score points, robots need to build constructions in defined zones of the table. These areas are the only parts of the table where constructions will be scored.

Three building areas are located along the front border (facing the audience) :

- two at table level (labelled **1**)
- one central and raised (labelled **2**)

A cylindrical additional one (labelled **3**), figuring a hill, is located at the centre of the playing area.

Rules 2009



The score of the buildings depends on the zone in which they were built, the score calculations being detailed in paragraph “Scoring” on page 15.

The front scoring zones **1** are terminated by an outside border on their free end, similar to a table border.

Helpers are placed on the ground, indicating positions of the columns properly spaced so that a temple can be built there. They are made of a black line, painted on the ground, perpendicular to the limit of the front building areas.

All detailed dimensions and positions of these zones and the helper lines are indicated in the plans in the technical drawings.

3.5. Dispensing zones

The robots may go and get elements for constructions in various dispensing zones.

At the beginning of the match, column elements are distributed on the table and in dispensers as follows:

- 12 column elements on the table: 6 green and 6 red,
- 20 column elements in the dispensers (2 x 5 column elements for each colour).

The lintels are located in their own bases.

Rules 2009

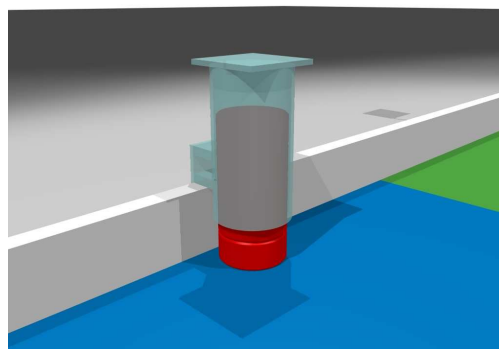
3.5.1. Column element dispensers

There are 4 column element dispensers, placed along all sides of the table.

- each dispenser is filled with elements of the same colour
- each team has 2 dispensers : one at the table front, and one on the short side of the table. Both dispensers are located in the half of the table opposite the team's starting area
- the dispensers on the table front are in fixed positions
- the dispensers on the table sides will be placed in one of two random locations along the table side at the start of the match. They will be placed opposite each other. The two random positions are symmetrical with respect to the middle of the table side.
- the positions of all the dispensers (fixed and random) are indicated in the technical drawings.

They are made so that when one element is withdrawn from the base, another element (if there is any left) comes down and takes its place. Only one element can be taken at a time.

The dispensers are made of a transparent tube. The external face of the tube is tangent to the inner face of the border. The part used to attach the dispenser to the border will be fully contained in the horizontal projection of the tube. In other words, no element of this part of the dispenser will protrude laterally from the tube itself. Detailed dimensions of the dispensers are provided in the technical drawings.



No additional equipment is added to the dispenser, so that the force to be applied to extract the elements is equivalent just to the one to overcome the friction caused by the table surface below, and the elements resting above it. *It is important to consider that the characteristics of the paint may change according to the room temperature, particularly because of the heat from the spotlights above the table.*

As described in paragraph “Beacon supports” on page 10, attached on its top, each dispenser has a beacon support on which the team is allowed to place any beacon conforming to specifications detailed in section “Beacons” on page 26.

3.5.2. Lintel storage

Lintel storages are special places from where lintels can be picked. They are distributed along the back side of the table.

- Each storage contains one lintel
- These storages are placed along the back side of the table, outside the table surface
- The lintels' storages of a given colour are placed in the half of the table containing the starting area of the team of the same colour.

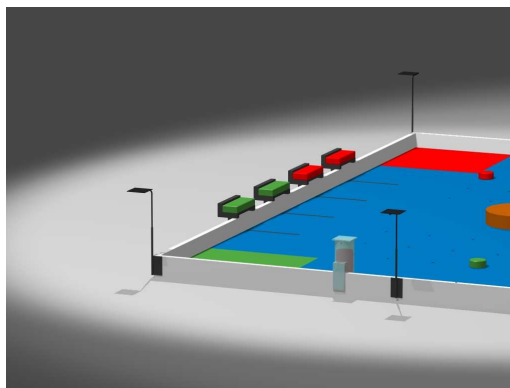


Rules 2009

Each storage is built so that a gap exists between the top of the table border and the bottom face of the lintel, allowing the insertion of a grasping mechanism.

Lintels are placed in their storage with their back face in contact with the back plate of the base.

In order to ease positioning of the robot, a black line is painted on the ground, perpendicular to the table border, and centred on each of the storages.



Shape, detailed dimensions and positions of the storages and helper lines are indicated in the technical drawings accompanying this document.

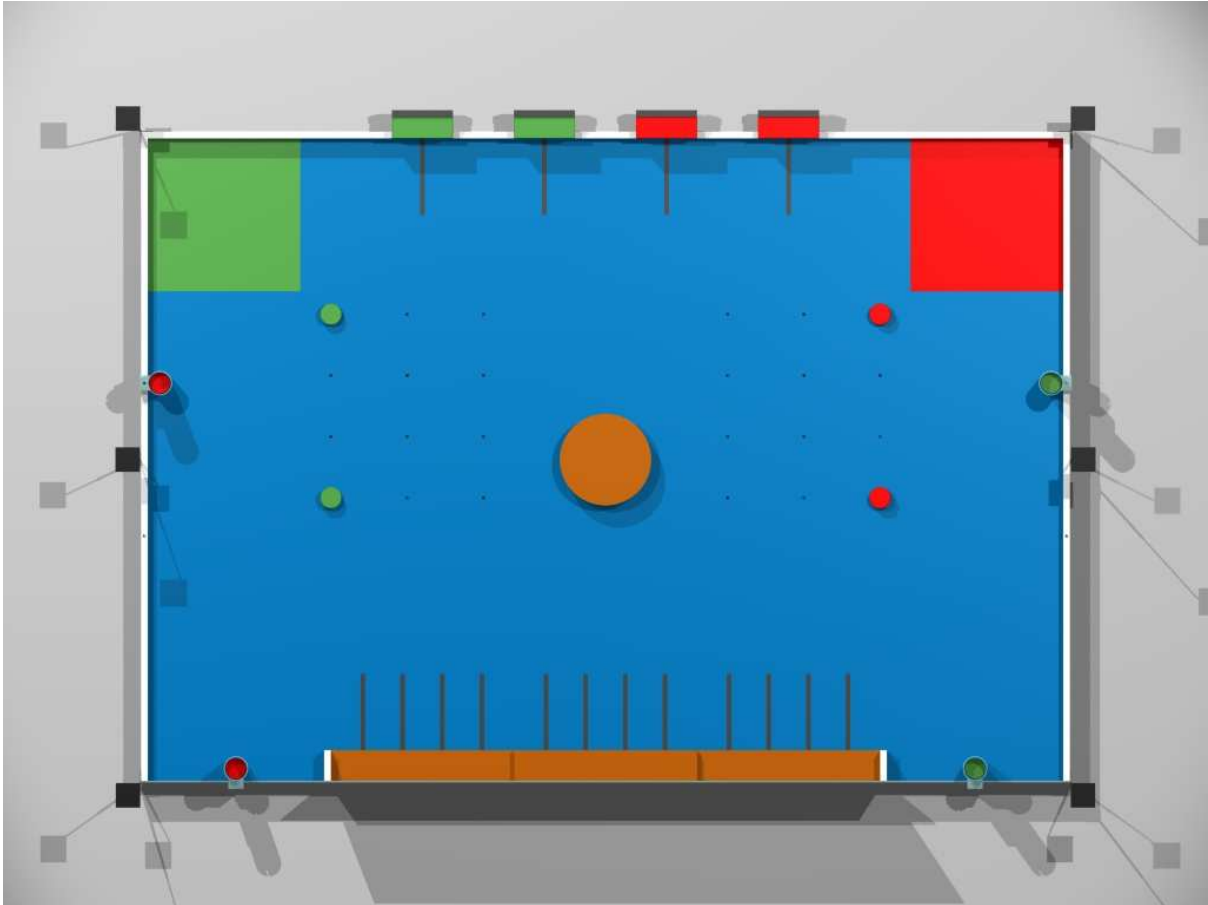
3.5.3. Pre-loaded lintel

The teams are allowed to include one lintel into their robot before the beginning of the match, in addition to the two ones placed in the bases. If the team decides not to do so, this extra lintel stays out of the game.

3.5.4. Free elements

24 locations for column elements are defined on the table, as shown on the diagram here after : **4 fixed** and **20 random** locations.

Rules 2009



The fixed locations are indicated by elements already in place. The random locations are indicated by the points. All locations in the same half of the table will contain elements of the same colour. Before the match, the referees select randomly the distribution of the remaining 8 elements on the random locations, using a card game defining the possible configurations.

The random locations are symmetrical with respect to the median axe of the table, in order not to favour either of the teams. To limit the number of combinations, these configurations are symmetrical with respect to a line located between the second and the third row.

A facsimile of the cards used for the selection is included in “Appendix B - Random cards” on page 36.

3.6. Scoring

Points are always counted once the match is over. The score is calculated from the achieved Game Points plus additional Destruction Compensation and minus any applied Penalties as described below. The team with the higher resulting score is the winner of the match. In qualification rounds additional Match Points are awarded depending on the match result.



Rules 2009

The different scoring components are detailed in the following sections.

3.6.1. Game points

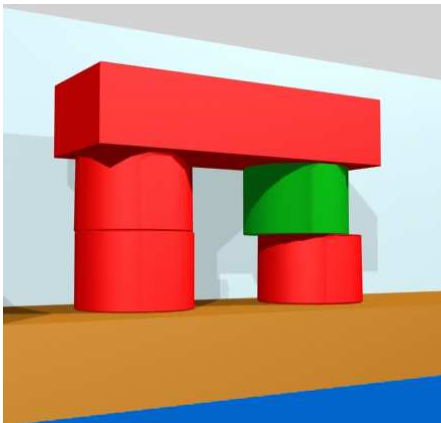
Only building elements located in the building areas defined in section “*Building areas*” on page 11 are scored. The rule to define a scoring, or valid element is as follows:

- A **column element** laying down (having a vertical axis) and entirely contained in a scoring area is a *valid* element.
- A **column element** laying down (having a vertical axis) supported by **at least one** valid element is a *valid* element as well.
- A **lintel** laying down flat (on its biggest face) supported by **at least two** valid elements is a *valid* element as well.

The score is then awarded to all **valid base** elements as follows ¹:

- A valid base **column element** scores a number of points equal to its level with respect to the table. The calculation of column element score thus starts:
 - from 1 for building zone **1**,
 - from 2 for building zones **2** (as shown in the example below), or
 - from 3 for the building zone **3**.
- A valid **lintel** earns a number of points equivalent to **3 times its level**.

An example of the score calculation is shown in the figure below. In this case, the building was made in the building zone **2**:



Red team

Left column: $2 + 3 = 5$
right column : 2
lintel: $4 * 3 = 12$

Total : 19 points

Green team

Right column : 3

Total : 3 points

¹ Refer to paragraph “*Building areas*” on page 11 for the definition of the numbering of the building areas used in the following text



Rules 2009

3.6.2. Destruction compensation

The focus this year being the building actions, any strategy based on the destruction of the already made buildings will be sanctioned with a penalty, as described in paragraph "Penalties" below.

A team is not even allowed to dismantle an existing construction piece by piece. Note that every time a construction is damaged voluntarily, penalties may be issued.


Moreover, and in order to reduce the damage to the opponent's score, the opponent will be credited points whenever a **construction involving his elements is damaged**. The number of points credited depends on the zone containing the original construction:

- 10 points for every individual **damaged column** (regardless to the number of contained column elements) or knocked-down **lintel** originally contained in the building zone **1**,
- 15 points for building zones **2**,
- 20 points for the building zone **3**.

3.6.3. Penalties

Every action that is not fully in line with the rules or the spirit of the competition, namely some of the points noted in paragraph "Penalty points" on page 29 will be penalized.

A **penalty** consists of subtracting **3 points** from the total score achieved in the current match. Note that more than one penalty can be issued at a time.



*It must be noted that **negatives scores are possible** if penalties exceed the number of points scored during the match.*


3.6.4. Match points

A **preliminary total** for the match is calculated by adding the Game Points and the Destruction Compensation and subtracting the Penalties as described above.

Match points will then be added to these points, based on the following rules:

- 10 points for a victory,
- 6 points for a draw,
- 2 points for a defeat,
- 0 points for a scratch.

A score of 0/0 (or below) is considered as a double defeat. Thus, each team gets only 2 match points.



*A **null score against a negative score** (because of penalties) does not award a victory. The team which scored a null score is considered as a defeat and as a consequence is awarded only 2 points for the match.*



4. The robots

4.1. General conditions

Each team is allowed to compete with only one robot.

They are not allowed to enter several robots that are **different** (*for example, presenting a different robot according to the colour attributed to the team for each match*).

Every structural modification during the competition implies another approval phase.

The robot is a fully autonomous machine. It shall carry its own power source, actuators and control system.

The robot is only allowed to communicate with the localization beacons (see section "Beacons" on page 26).

All parts of the robot must remain physically connected - therefore the robot cannot leave parts of itself on the playing area.

4.2. Robot dimensions

Robot can have deployable extensions, their deployment is allowed after the match start signal only.

The perimeter of the robots is defined as the convex envelope which fits the vertical projection of the robot on the ground.

The perimeter of the robot, in its starting configuration shall not exceed **1200 mm**. The perimeter of the robot in a fully deployed configuration shall not exceed **1400 mm** at any time during the match. The playing elements controlled by the robot during the game are not included in these dimension limits.

The height of the robot shall not exceed **350 mm**, excluding the beacon supporting mast, potential sensor equipment within the beacon support mast's envelope and the pressing part of the emergency stop button.

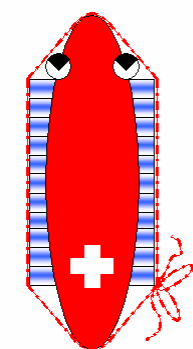
Teams are warned that though some tolerance is allowed with respect to the maximum height for the emergency stop button, this must not represent any form of annoyance for opponent beacon systems.

All other systems, including mandatory systems, must be contained within the volume specified above.

The limitation in height includes all the carried elements. This restriction is set in order for these objects not to interfere with the opponent robot communicating with its beacons.

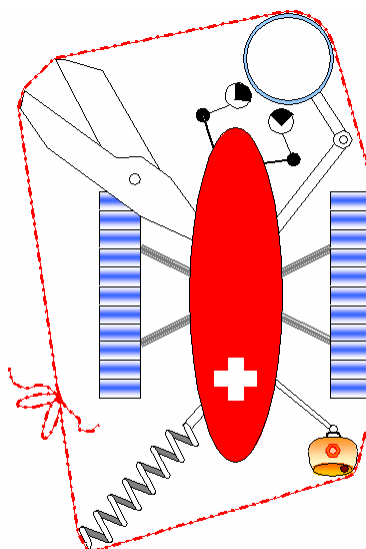


Rules 2009



--- <= 1200 mm

Starting configuration



--- <= 1400 mm

Deployed configuration

Important notice : Since it has been observed that every year some robots are slightly above the allowed dimensions because designed too close to the limits, teams are strongly advised to keep some safety margin, and stay several millimetres under the above mentioned limits, so that no "bad surprises" occur during approval.

4.3. Visibility

The refereeing committee encourages the teams to make the interior parts of their robot visible.

Two areas of 100 mm x 70 mm must be available on the robot for the placement of stickers (number of the team and logos of the sponsors of the event, printed by the organizer). The areas should be placed on two different sides of the robot.

4.4. Limitations

The aim is to share a friendly time and play as many matches as possible. Therefore, any action not directly in line with the match spirit as laid out in this document or harmful for match development is not welcome and may be penalised.

4.4.1. Fair-play

In the spirit of fair-play, a robot's strategy may not be:

- to block the opponent robot's access to an element or to an area of the playing field,



Rules 2009

- to use objects of colours or shapes when designing the robot in order to confuse the opponent. None of the colours mentioned in these rules for the playing field elements or elements of play may be used on the robot,
- the robot causing intentional damage to the opponent robot, the playing area, or any of the playing field elements,
- to use a fixing system to attach the robot to the field (e.g. suction cups). At any time during the match, the effort required to lift the robot must not exceed its own weight,
- to use systems designed to make the table vibrate,
- to keep the playing elements of the opposing team or more generally, to prevent the opponent's robot from accessing its own playing elements.

4.4.2. Limitation of controlled game elements

The robots must scrupulously adhere to the limitations detailed in “Limitation of controlled elements” on page 20 if one is applicable. Failure to do so may result in severe penalization and even a re-approval may be requested if the violation is performed repeatedly.

4.4.3. Usage of fans

Usage of fans to move the elements of play on the table by blowing is not allowed. The reason for this rule is that no such system is able to ensure the limitation of controlled game elements noted above is fulfilled.

The usage of a vacuum-based system to pick up and manipulate the playing elements is allowed.

4.5. Mandatory equipments

All robots must include the following systems, or they will not be approved for competition.

4.5.1. Starting cord

The Robot must include a starting device, easily accessible on the robot. It shall be triggered by pulling a cord **at least 500 mm long**. This cord shall not remain attached to the robot after it has been started. Any other system to start the robot (remote control, toggle switch directly activated by hand, etc...) will not be approved.

4.5.2. Emergency stop button

The robot must include an emergency off button, with a diameter of at least 20 mm and painted in red. It shall be placed on the top of the robot, in a conspicuous position and in a zone that is not dangerous and that is immediately accessible to the referee at any time during the match. The stop button must be activated by a simple downwards pushing motion.

Pressing the emergency button must result in the immediate shut down of all of the robot's actuators, leaving them limp (neither actively braked nor energized). This includes all drive motors, actuator motors, internal systems and all other moving parts of the robot.



Rules 2009

The emergency stop button must also immediately shut down all laser devices used in the robot.

4.5.3. *Automatic shut down*

Each robot shall accommodate a system which shall stop the robot automatically at the end of the 90 second match duration. "Stop" implies complete shut down of all actuation including internal devices. Robots moving after the end of the match will be penalized or disqualified.

4.5.4. *Obstacle avoidance system*

Teams are required to equip their robots with an obstacle avoidance system. The system is intended to prevent collisions and damages between robots during a match.

The robot must be able to avoid at least a fake robot, as described in paragraph "*Practical trials*" on page 31.

4.5.5. *Robot localization beacon support*

It is strongly recommended to design the robot with a support to accommodate a localization beacon prepared by the opponent team.

If desired, the support can be designed to be detachable, so that it is only used if the opponent needs it. In this case the design must allow the support to be quickly attached before the match.

Finally, a team may choose not to include a beacon support. In this case, if the opponent provides a beacon and wants to use it during the match, the team will be disqualified for not having the support.

The beacon support shall at all times comply with the following constraints:

- It is a **80x80 mm** square surface, located **430 mm above the floor level**. The structure supporting this platform must stay within the vertical projection of this platform. This mast cannot host any parts of the robot other than sensors. The mast shall be robust and rigid enough to support the opponent's beacon in a stable fashion. The team is responsible for the robustness of its mast.
- The platform surface of the support shall be fully covered with Velcro™ (rough "hook" side)
- The support shall be located close to the horizontal centre of the robot. In the robot's not deployed configuration, the distance between the support and the maximum robot extension on one side shall not be less than 50% of the equivalent distance on the opposite side.

4.5.6. *Technical poster*

Each team is required to provide a technical poster during the approval phase.

This poster should present information related to the design of the robot (drawings, technical references, design specifications, etc...). It should be at least DIN A1 in size, and ideally should be printed. The poster is intended to promote exchange and communication between teams.



Rules 2009

Effort should be made to make the poster understandable to a non-technical audience. Ideally the poster should include pictures and diagrams to help explain the concepts.

The poster must also include:

- the name of the team,
- the names of the team members,
- the nationality of the team.

This poster will be displayed in the team's pit. An English version of the poster must be supplied. Optionally, the team can provide other language versions as well.

The poster shall be supplied to the Eurobot association in **PDF Format**. The chosen resolution of the PDF must guarantee that all texts on the poster will remain readable. If possible, the file size of the PDF should remain below **25 MB**. The PDF Version of the poster may be sent to Eurobot beforehand via your National Organisation Committee, or may be provided on CD-ROM or USB key at the competition, during the approval for your robot.

In general Eurobot encourages the teams to communicate about their projects, for example by posting in the Eurobot forums.

4.6. Energy sources

Allowed energy sources include springs, pressurised gas, solar cells (note that the competition will be held indoors) and most types of commercially available batteries and power cells,

Prohibited energy sources include all types of combustion engines, rocket engines, hydrogen fuel cells, any other type of burning or pyrotechnics, living beings and radioactive energy sources of all types.

If in doubt about your unusual energy source, ask the refereeing committee ahead of time.

With respect to batteries, use only models with solid electrolyte in order to prevent any problem with corrosive liquids.

It is strongly recommended for teams to possess several battery sets and to design for easy access in the robot for their replacement. The teams are reminded to have spare, fully-charged batteries available at all times.

Teams are required to be capable of playing two matches in succession. Note that this includes the necessary “set-up time”, when the robot is powered on and waiting to start, but the match has not yet begun.

4.7. Control systems

The teams may use any kind of robot control system (analogue, microprocessors, micro-controllers, computers, programmable logic, etc.).

Those systems must be fully integrated into the robot.

The control system must permit the robot to play a match as either colour. The colour of each team will be decided just prior to the match.



Rules 2009

The control system must permit the robot to pass the approval phase.

4.8. Safety

One of the design goals for your robot should be to develop systems that are safe for people, both during the competition and during the construction and experimentation phase of your project. This is also why you must ensure that your systems comply with applicable regulations for technical devices.

The robots must not have any protruding or sharp parts that may be able to inflict injury while casually handling the robot. The use of liquid products, corrosive products, pyrotechnic materials or living beings in the robot is also forbidden. Each of these points will be checked during the approval phase of the competition, before the robot is allowed to participate to matches.

As a general rule, any device or system considered as potentially dangerous by the referees will be rejected, and must be removed from the robot prior to competition, or result in the team's disqualification.

All the systems on the robots shall respect existing national and European laws and specifications. Specifically, the systems used shall comply with legal safety regulations and must not endanger the participants or the public both during matches and backstage.

Hereafter are listed some safety regulations. This list is not exhaustive - the referees' decisions are final on what is dangerous, and what is not.

Teams not complying to these rules (by providing incorrect documentation for instance) will be held responsible in front of the justice in case of any damage resulting from their system.

4.8.1. On-board voltage

All robots must comply with the legal standards concerning "low voltage". Therefore, the internal voltage of the robots **shall not exceed 48 V**.

Internal voltage is defined as the electrical potential between any two parts of the robot, with or without its casing in place. This includes components insulated by the teams themselves, using adhesive tape, thermo-shrinking tubing, or any similar non industrial process.

It is permitted that potentials higher than 48V exist, but only inside sealed commercial devices (such as lasers or LCD display back lighting) and only if these devices have been left unmodified, and themselves comply to national and European regulations.

4.8.2. Lasers

Only considerations based on laser class definition (in the "EN 60825-1:2007, Edition 2 - Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements" standard) will be taken in account. Teams using a laser will have to provide the classification notice of the equipment, or the data sheet of the laser component. Not being able to provide such documents will prevent the robot to be approved as is.



Rules 2009

Based on the classification, it is allowed to use lasers of Class 1, 1M, 2, 2M. All other classes (3R, 3B and 4) are strictly forbidden.

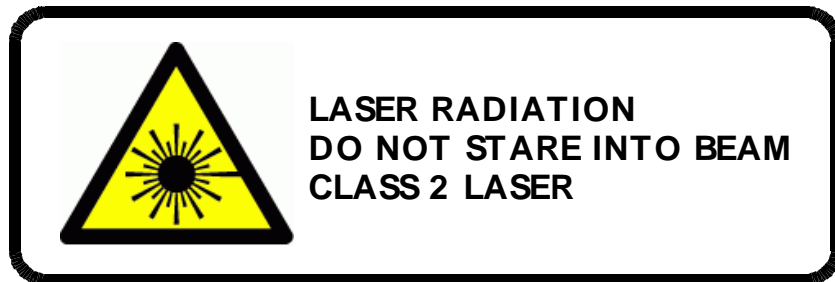
Additional constraints for robots competing in France (all French Cup robots, European ones qualified for the Eurobot finale).

Lasers class 2 and 2M are accepted if and only if the laser beam is never projected outside the table. Since the front Plexiglas border is masked from 0 to 30 mm high, this means that beams of such laser device must be constrained in this vertical range.

For safety reasons, laser components salvaged from CD/DVD readers or writers are not allowed. Even if these consumer devices are classified as class 1 laser devices, this classification is valid only if the device is kept unmodified and with its casing in place. Lasers components included in such devices can be class 3 because of its wavelength and/or energy used. Therefore it is not permitted to use these components in the competition.

CAUTION : disassembling such products and have them operate without their casing can be extremely harmful (this is indicated by the stickers that should be present on the casing of the device)

Robots using class 2 and 2M lasers must show on their casing a laser caution label according to the official laser products users guide (IEC TR 60825-14: 2004 Safety of laser products. A user's guide), such as the following one :



4.8.3. Powerful lights

When high intensity light sources are used, be aware that the light intensity can be dangerous for the human eye. Note that some commercially available high power LED devices can exceed this limit.

4.8.4. Compressed air systems

This paragraph applies to robots competing in France (all French Cup robots, European ones qualified for the Eurobot finale).

All pressure systems must comply with the "Conseil Général des Mines" Decree 63 of January 18, 1943 and Ministerial Order of July 25, 1943 :

- Maximum service pressure : 4 bars
- Maximum pressure x Tank volume \leq 80 bar.liter

Further information can be found on <http://www.industrie.gouv.fr/sdsi/>



4.9. Other systems

All other systems are, in principle, allowed, provided of course they comply with the rules outlined above. Use your imagination !

For example, in order to encourage innovation and provide an interesting show for the public and media it is suggested to implement sound or emotive behaviours into your robot.

5. Beacons

5.1. General comments

Beacons are not allowed to obstruct the opposing robot. If there is any doubt that they may deliberately disturb the development of the match, the team will not be allowed to use them.

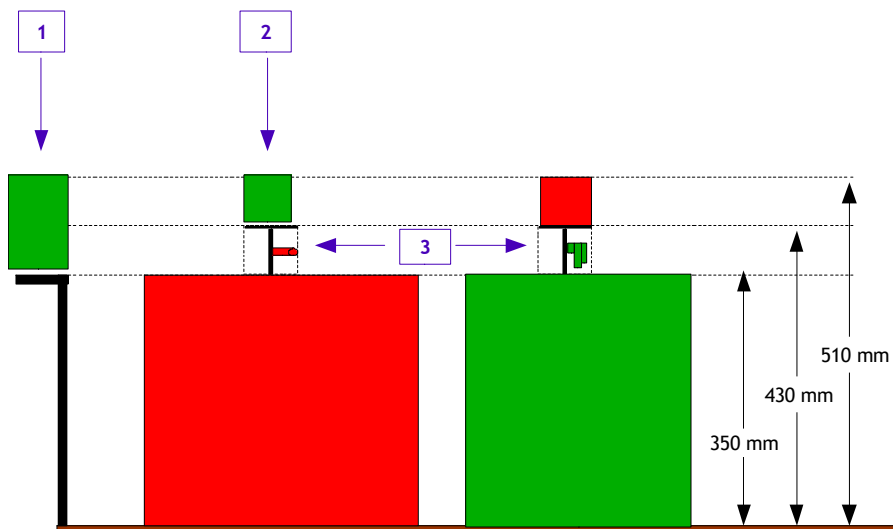
The beacon supports are placed in the locations detailed in paragraph “*Beacon supports*” on page 10. They are placed on the outside of the table.

The beacons’ undersides are covered with Velcro (soft “loop” side) as a way to fasten them on their assigned support.

The beacons (robot localization or fixed ones) shall remain on their support throughout the matches.

The use of beacons is optional.

All safety standards applicable to robots are also applicable to the beacons.



Legend :

- 1 : Fixed beacon (80x80x160 mm)
- 2 : Robot localisation beacons (80x80x80 mm)
- 3 : Mast (area for sensors only)



Rules 2009

5.2. Robot localization beacon

One localization beacon can be fitted onto the other robot, in order to locate it. This beacon will be fitted on the beacon support provided for this purpose by the opponent robot.

Only one localization beacon is allowed per team.

The maximum size for a robot localization beacon is a **cube with 80 mm sides**.

The elements used for the beacon design shall be useful. If necessary, the referee may request that the team opens its beacon casing for inspection and verification.

The robot localization beacon top shall be covered with Velcro (rough “hook” side) able to support the flag module identifying the robot's allocated colour.


5.3. Fixed beacons

Each team can put a beacon on any of the fixed beacon supports placed around the playing area. See “Beacon supports” on page 10 for details.

The fixed beacons must remain within a square base of **80x80 mm** and can be up to **160 mm high**.

The fixed beacons can be linked together by a wire. This optional wire must not disturb the development of the match and the team must be able to install it during the 3 minutes for match preparation without disturbing the opponent team.

Temporary wire connection between the beacon and the robot is allowed during the preparation phase before the match, but on the definite condition that it doesn't disturb the preparation of the opposing team. In case of a justified complaint from the opponent, the team will have to cease using this equipment.



Given that the 3 minutes time period allowed for the preparation is very short, and that any team not respecting it will be penalised, we strongly advise against the use of such equipment.

5.4. Communication signals

In order to avoid interference between the teams, it is recommended to encode the communication signals. We strongly recommend that teams using infra-red devices take into account the strong ambient light used during the competition. Moreover, this illumination may vary over time and location during the competition.

We also mention that the competition staff uses high frequency radio devices during the contest.

No complaint regarding interference problems will be taken into account. The beacons must be able to cope with the conditions that may change depending on the moment and their location during the contest.



6. Match timeline

6.1. Robot identification

For each match, the robots are allocated a team colour marker, built as a small flag module in red or green. The marker is to help the public recognize which robot belongs to which team.

The flag module mass is negligible. It is placed directly on the robot beacon support, or directly on the robot. If the robot does not provide a beacon support, it must provide a **80x80mm square** surface covered with Velcro (rough “hook” side) at the top of the robot to place the flag marker on.

6.2. Starting procedure

- A colour (red or green) and therefore a side of the playing area is allocated to the team before each match.
- Only two members from each team are allowed to access to the stage area for robot preparation.
- Both teams have 3 minutes to put their robot on the starting position, to prepare it and to install all beacons.
- The robots are placed on the table, entirely within their starting areas.
- After the **3 minutes** preparation time, no more intervention or transmission of external information to the robot is allowed.
- When both teams and the referees indicate they are ready, the referee will determine the random positions for the playing elements to be placed on the table. This is done by drawing from a set of cards. These cards are provided in the Appendix of this document (“*Appendix B - Random cards*” on page 36). During this procedure, the teams are not allowed to touch their robot nor communicate with it.
- The referee asks the participants if they have any remark about the placement of all the game elements. No objection regarding the placement will be accepted after this point.
- At the start signal given by the referee, the robot is activated by one of the team members using the starting cord. The robot shall then run on its own in a fully autonomous way.

Any team which does not scrupulously follow this starting procedure is charged with a false start. A new start shall be given with a new random layout for the game elements. Penalties may be applied for causing the false start.



Rules 2009

6.3. Match sequence

Robots have **90 seconds** to score as many points as possible. This must be accomplished in complete autonomy.

The team members are not allowed, in any way, to touch the robots, the playing area or any of the fixed game elements during a match. **Any such action made without the referees consent will lead to disqualification for the current match. The team will then lose all the points it may have scored during the match.**

If the robot leaves the playing area it may not be put back in. The match is not replayed and the other robot is allowed to finish the match normally.

A robot that deliberately pushes its opponent out of the playing area is disqualified.

At the end of the match, the robots must stop (shut down of all actuation) by themselves. If the robot does not shut down by itself, a referee will push the emergency stop button to stop the robot.

The referees will count the points without touching the robots. Then they will announce the score.

The team members are allowed to touch the robots and leave the game only with the explicit consent of the referees after common agreement on the score. They must ensure that no element of play remains inside the robot.

6.4. Calculation of the score

6.4.1. Game points

Game Points (see page 16) are awarded at the end of the match for the game actions connected to the playing elements.

6.4.2. Penalty points

A penalty results in the removal of points from the score of the team at the end of the match. Any action not compatible with the spirit of the rules may be penalized by the referees. For example, the referees may assign penalties in the following cases:

- When a robot violently collides with its opponent.
- When a robot is considered dangerous for the table, the audience or its opponent.
- When a robot deliberately prevents its opponent to access a game element.
- If a robot's shut-down system fails to work.
- If a robot intentionally or systematically damages the buildings (temples and columns).
- If a robot keeps the building elements the opponent's team.
- If the robot puts playing elements of the opponent's team off the table.



Rules 2009

- Whose robot shows a deployment or an action that has not been previously approved by the referees, or any deliberate action not in line with the rules.

Additional penalties can be applied if the referees consider this justified. For instance, if a team has been warned about some negative point during a match, and the same point is noticed during a subsequent match, this will turn into a penalty. The electronic scoring system used for the competition sports a feature to record such warnings, so that the referees can know about past problems with the teams and take them in account accordingly.

Multiple penalties can be applied for one offence, if the referee feels the offence justifies it.

6.4.3. Match points

Additional points are awarded in the qualification rounds to the teams accordingly to the result of a match. The system of bonus points is described in paragraph “Match points” on page 17.

6.4.4. Scratch and match disqualification

The team is declared scratched (i.e. disqualified from the current match) when some of the following conditions occur:

- it does not come on time to the backstage waiting room for matches;
- it takes more than 3 minutes to get ready on the playing area;
- its robot has not completely left its start area during a match;
- its robot doesn't have a mobile beacon support, when its opponent requests and requires one.

In case of a scratch, no points are given to the team (whether positive or negative).

6.4.5. Competition disqualification

The referees may disqualify a team for the competition:

- When the robot makes the same penalized actions systematically
- For unacceptable behaviour
- Failure to comply with safety regulations



7. Competition phases

7.1. Approval phase

A robot must be approved before being allowed to participate in the tournament. For logistical reasons, and reasons of fairness, there is a deadline for approval. All teams must approve their robots before this deadline. Robots that are not approved will not be allowed to participate in the tournament.

7.1.1. *Physical examination and team interview*

The referee examines the robot and interviews the team to check the following:

- That the robot complies with the rules (the robot should be capable of demonstrating all of its possible actions and deployment configurations to help verification).
- That the team provides a required technical documentation of components (e.g. lasers).
- That the team provides a technical poster.
- That the team understands the rules and the spirit of the tournament.
- That the emergency stop button works, and all actuators are shut down when it is pressed.
- The organizer's logo (if required) is placed on the robot so it is visible by the public.

7.1.2. *Practical trials*

In addition, the robot must pass the following tests:

1. That under match conditions, without opponent:
 - The robot is capable of leaving the start area
 - The robot is able to win a match without the opponent
 - The robot's shut down system works properly

2. A test that the robot's obstacle avoidance system works.

The system should be able to successfully avoid a static dummy obstacle, put in the path of the robot. This obstacle is a fake robot made of a 300 mm high and 200 mm diameter cylinder, weighting between 2kg and 3kg. This fake robot sports a beacon platform, so that it is possible to place a beacon on it. The robot must avoid the obstacle, demonstrating to the referees in a convincing manner that it properly takes the obstacle in account.

3. A test that the Limitation of Controlled Elements (see page 8) is guaranteed by the robot's systems. This test is only conducted if it is not evident that the limitation is physically ensured by the structure of the robot.



Rules 2009

4. For competitions held in France, in case of class II lasers (be it in the robot or in the beacons) the laser system is tested to ensure that the spot is never projected outside the table.

7.1.3. Modifications after approval

It is mandatory to keep referees informed of any major modifications (functionality, size, etc.) performed after the robot's approval. The referees will check the modifications and re-approve the robot.

Actions used during the match which were not demonstrated during the approval process can lead to penalties or disqualification.

Referees can require a robot to subject itself to another approval process at any time during the competition, if in doubt about its conformance to the rules.

7.2. Qualification rounds

The format of the national competitions may differ from the mode described below. Eurobot encourages the national organizing committees to plan their national tournaments to allow the teams to play many matches. The more matches, the more fun, and the clearer the results.

The Eurobot organization will try to organize at least five matches for each team during the qualification round. The results of the qualification rounds decide which teams go to the final round.

When the qualification rounds are over, the teams are sorted using their cumulative qualification point count. The teams that have the same points count are sorted by comparing the points accumulated during each match without adding the bonus points for match result.

In case of ties, the organisers may request the teams to play extra matches. Pairs of teams competing for the same rank will be randomly drawn, and resulting matches will be played on a knock-out basis. In case of odd number of teams, an additional random match will be played, on the same basis.

7.3. Final round

At Eurobot, the first 16 teams from the qualifying phase are selected for the final round. In a national competition the final round may be smaller, depending on the number of registered teams.

The matches for the final round are organised as shown in the diagram here after.

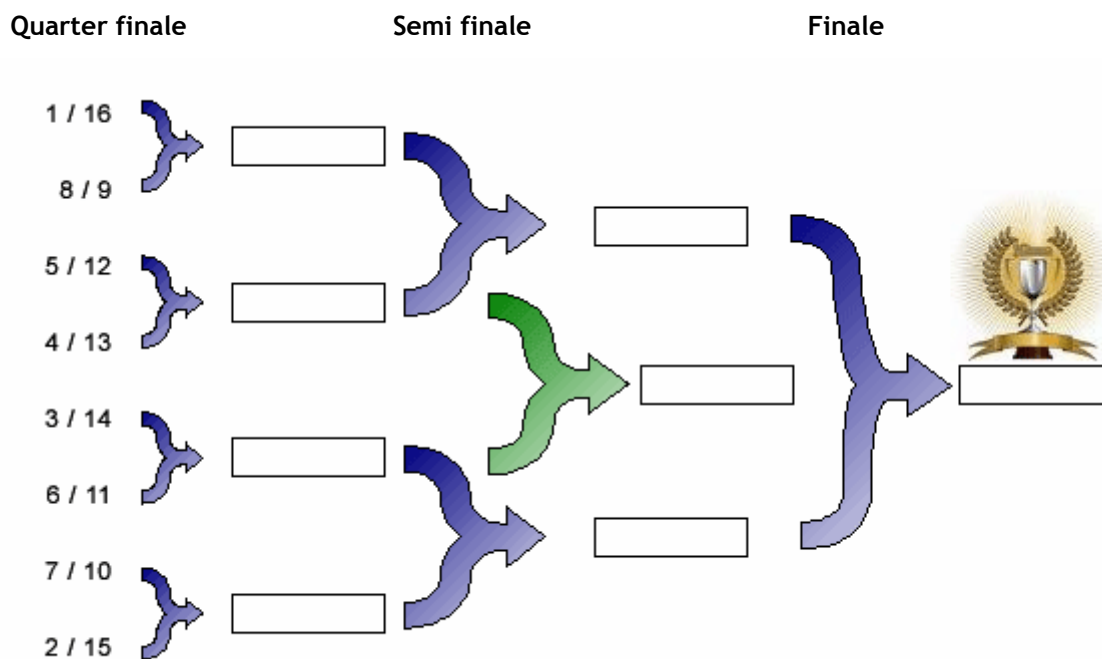


Eurobot 2009

Temples of Atlantis



Rules 2009



During the final phase, matches are on a knock-out basis.

In the event of a double defeat, a draw or a double disqualification the match is replayed immediately. If this second match is also a double defeat, a draw or a double disqualification, the winner will be determined by the position at the end of the qualification rounds.

The final match is played in **two winning sets**.



8. Appendix A - Playing area and elements specifications

The following section provides all the details necessary for playing area construction.

8.1. Tolerances

The organisers are committed to build the playing area to the highest degree of accuracy. But they do allow for the following fabrication tolerances:

- 2% with respect to the playing field construction,
- 5% with respect to the playing element construction,
- 10% with respect to painted markings.

No complaints related to fabrication variations within the above tolerances will be accepted. The teams are warned that the paint finish of the table may vary from one playing area to another and may degrade during the competition.

If problems with the rules are discovered, the definition of the field and game components may be modified over the course of the year. We strongly advise participating teams to regularly consult our web site <http://www.eurobot.org/> in the 'FAQ' section for potential amendments and to follow the discussion and the information on the forum <http://www.planete-sciences.org/forum>.

Important notes:

Be aware that the flatness of the table is also subject to some variation. While some tables are made of very stiff materials, and perfectly flat, some are softer and may have some degree of warping. The tables may also be made from two or more sections, resulting in a small ridge at some locations on the table surface. For these reasons it is urgently recommended to allow enough flexibility in the robot's drive system, and the robot's clearance to accommodate such variations.

Above tolerances apply to the playing field and other components of the game only. They do not apply to robots and localization beacons prepared by the participating teams, which are required to respect the limitations described in this document, without tolerances.

8.2. Technical drawings of the table and the playing elements

Because of their size, the detailed technical drawings with dimensions are gathered in "Appendix C - Technical drawings" on page 39.



Rules 2009

8.3. References of the paints

Element	Colour	Type of paint	Reference
Playing area	Sky blue	Acrylic, matte	RAL 5015
Building area	Chocolate brown	Acrylic, matte	RAL 8017
Green starting zone	Yellow green	Acrylic, matte	RAL 6018
Red starting zone	Traffic red	Acrylic, matte	RAL 3020

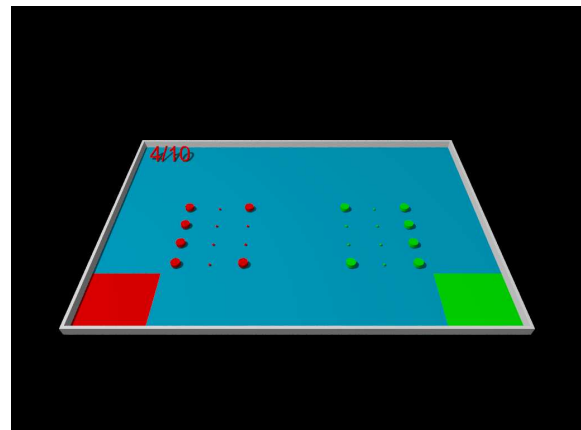
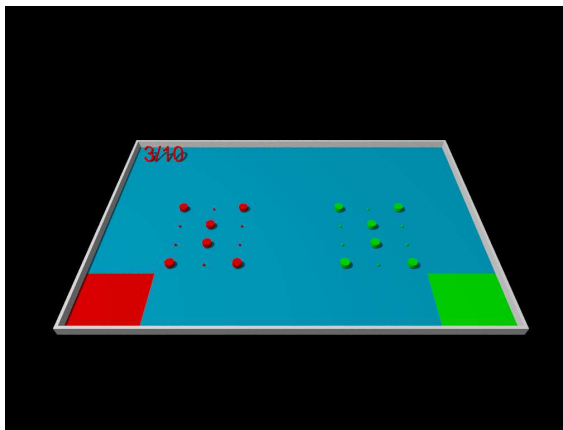
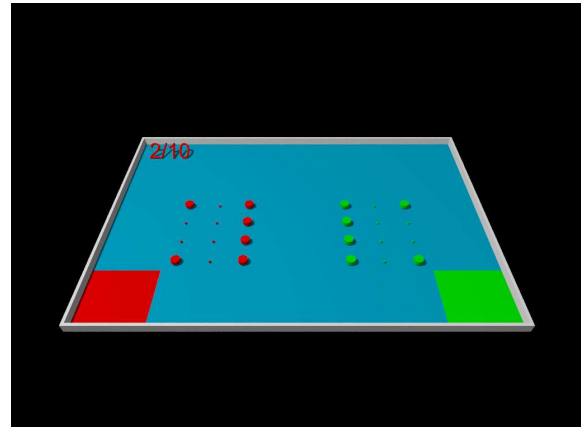
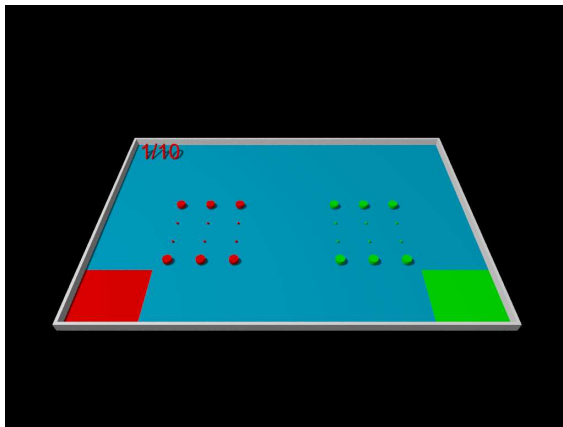
9. Appendix B - Random cards

The configuration cards deck is made of two parts :

- 10 cards for the random column elements placement on the ground
- 2 cards for the moveable vertical dispensers placement

A facsimile of these cards is included hereafter for convenience.

Column elements placement



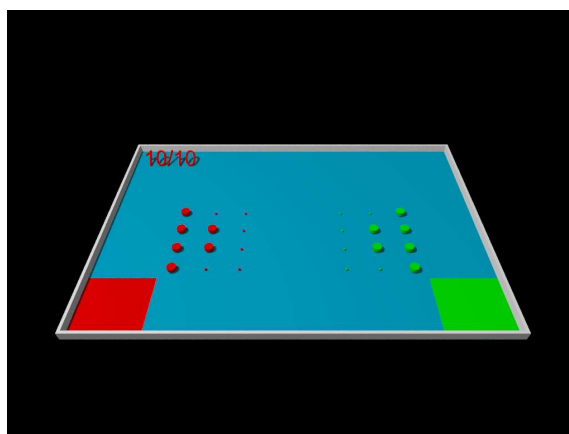
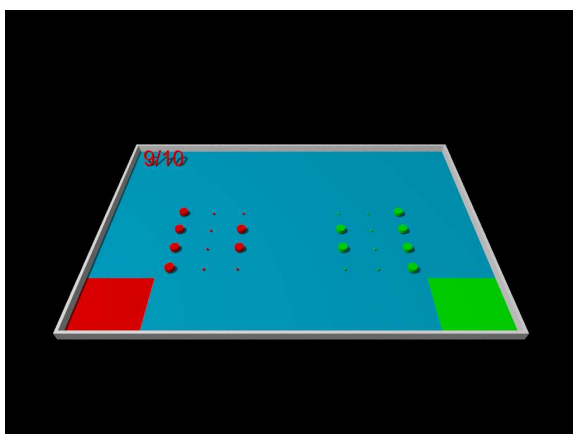
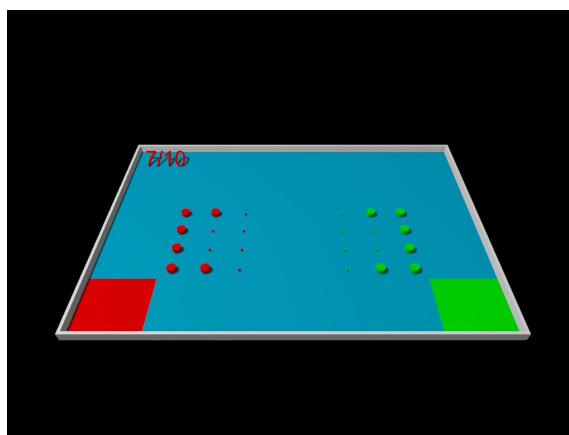
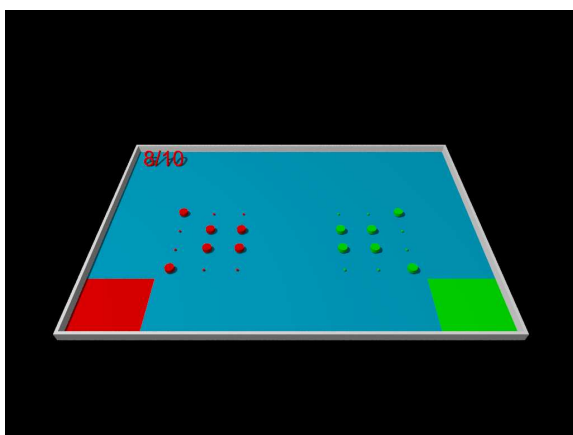
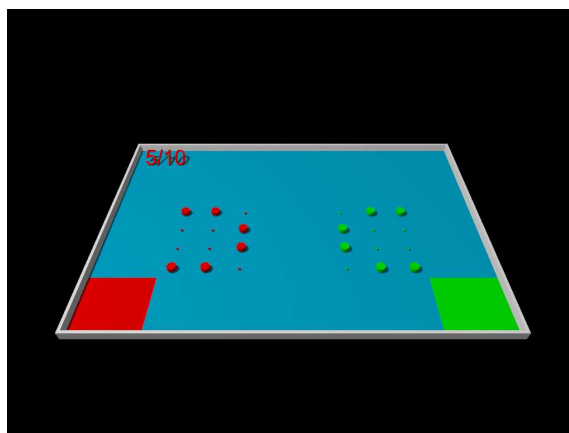
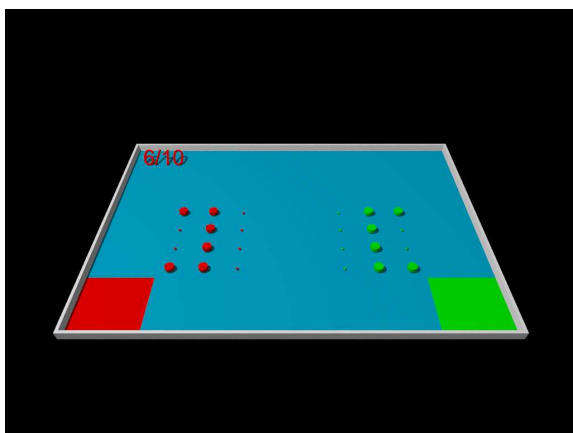


Eurobot 2009

Temples of Atlantis



Rules 2009





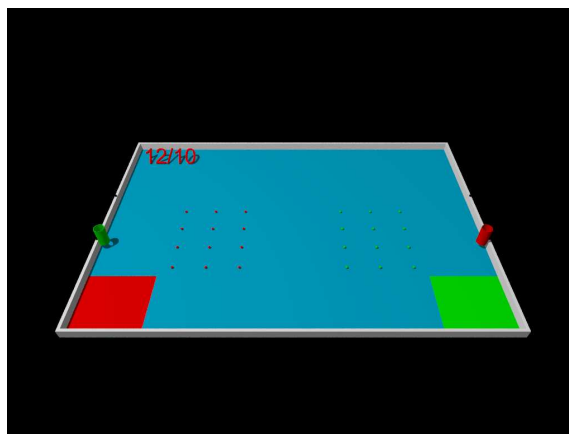
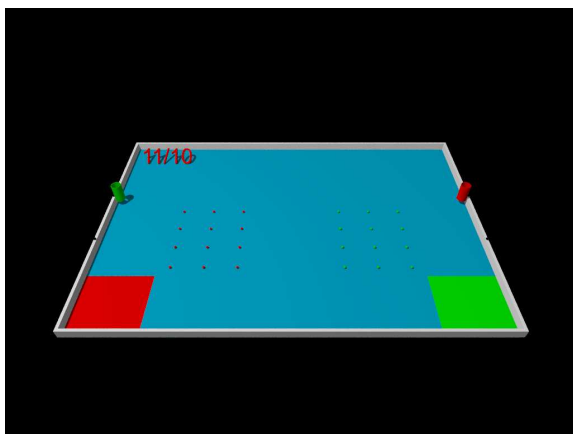
Eurobot 2009

Temples of Atlantis



Rules 2009

Dispensers placement





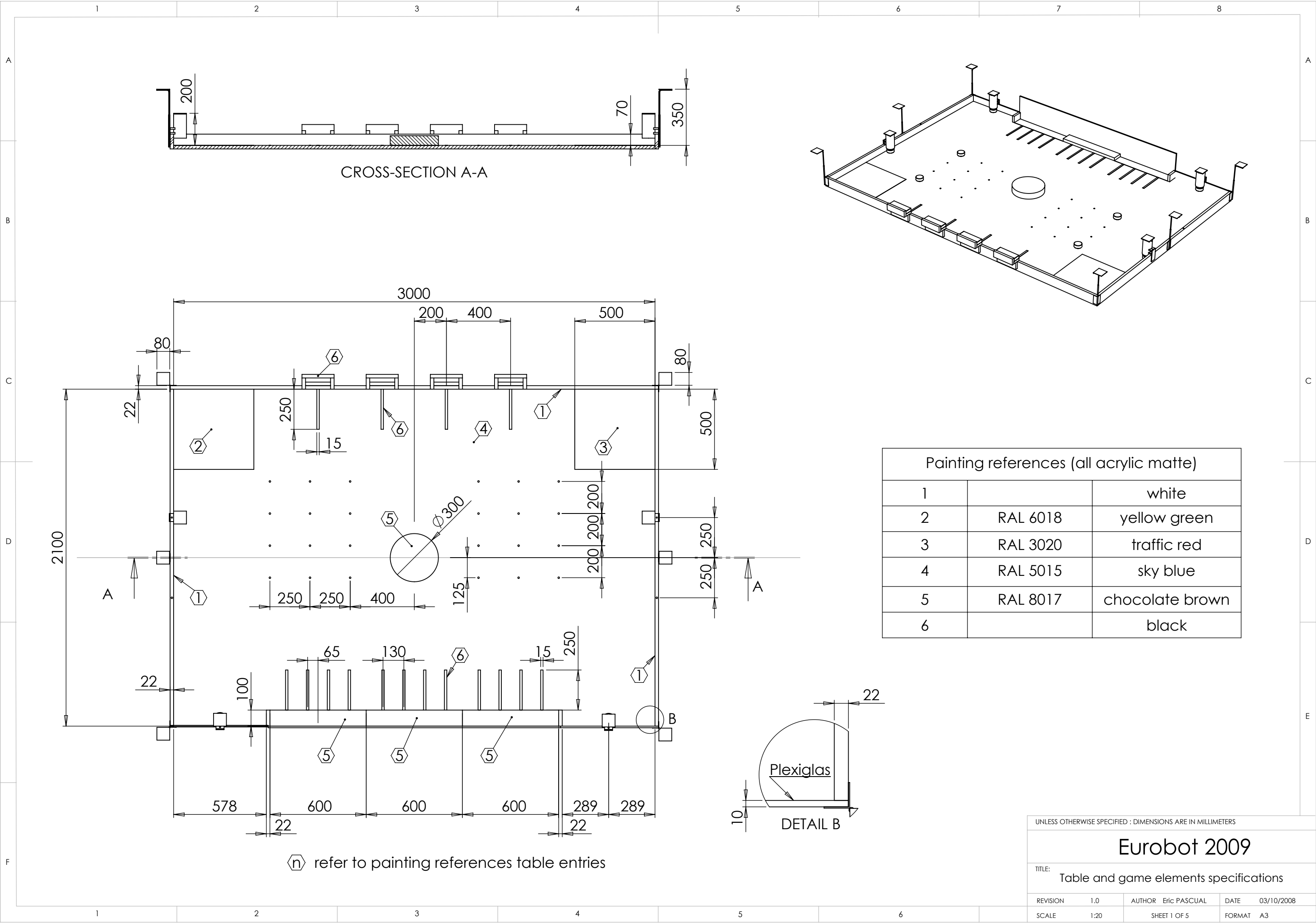
Eurobot 2009

Temples of Atlantis



Rules 2009

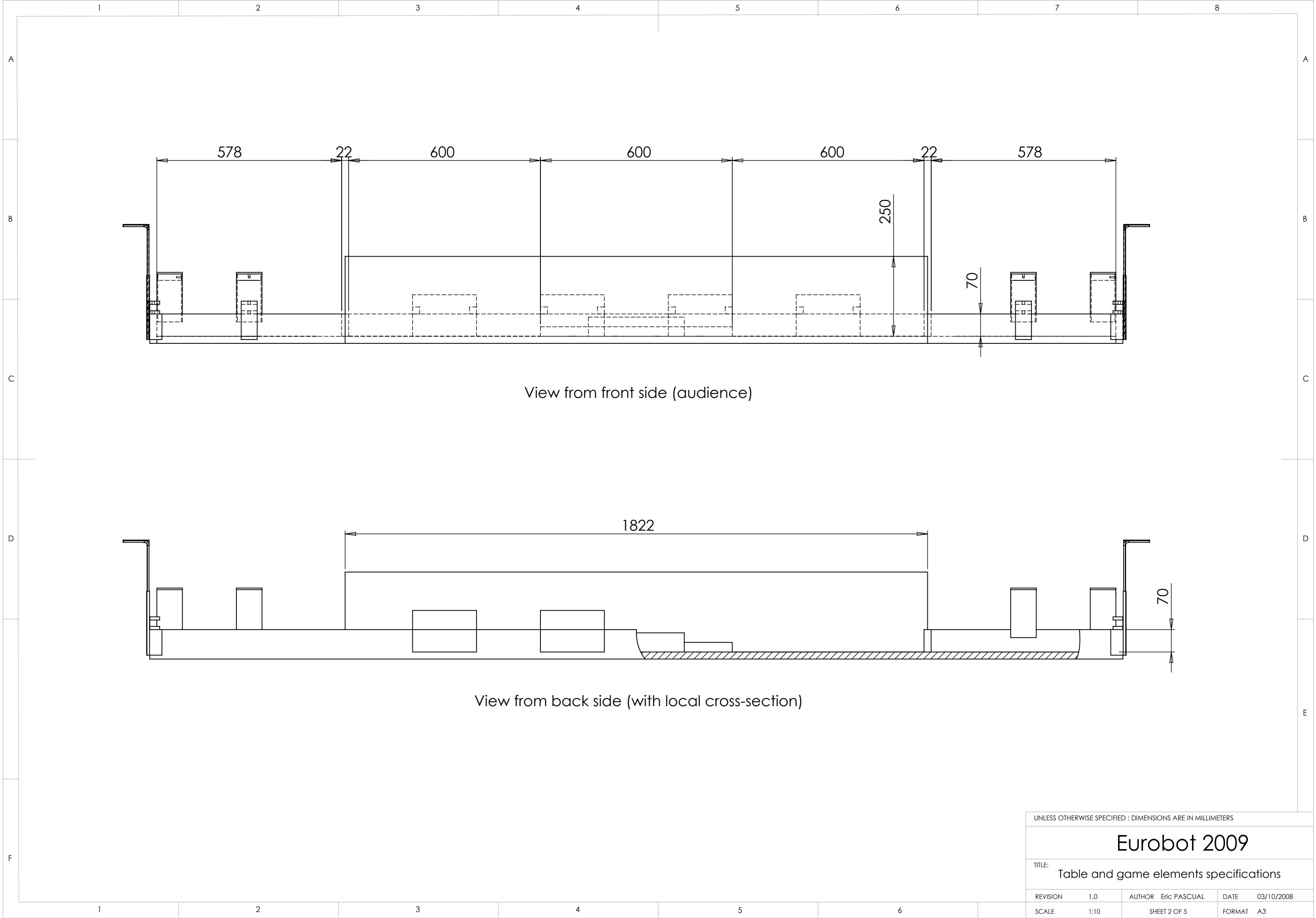
10. Appendix C - Technical drawings



Painting references (all acrylic matte)		
1		white
2	RAL 6018	yellow green
3	RAL 3020	traffic red
4	RAL 5015	sky blue
5	RAL 8017	chocolate brown
6		black

⬡ refer to painting references table entries

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED : DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			
Eurobot 2009			
TITLE: Table and game elements specifications			
REVISION	1.0	AUTHOR	Eric PASCUAL
SCALE	1:20	DATE	03/10/2008
		SHEET 1 OF 5	FORMAT A3

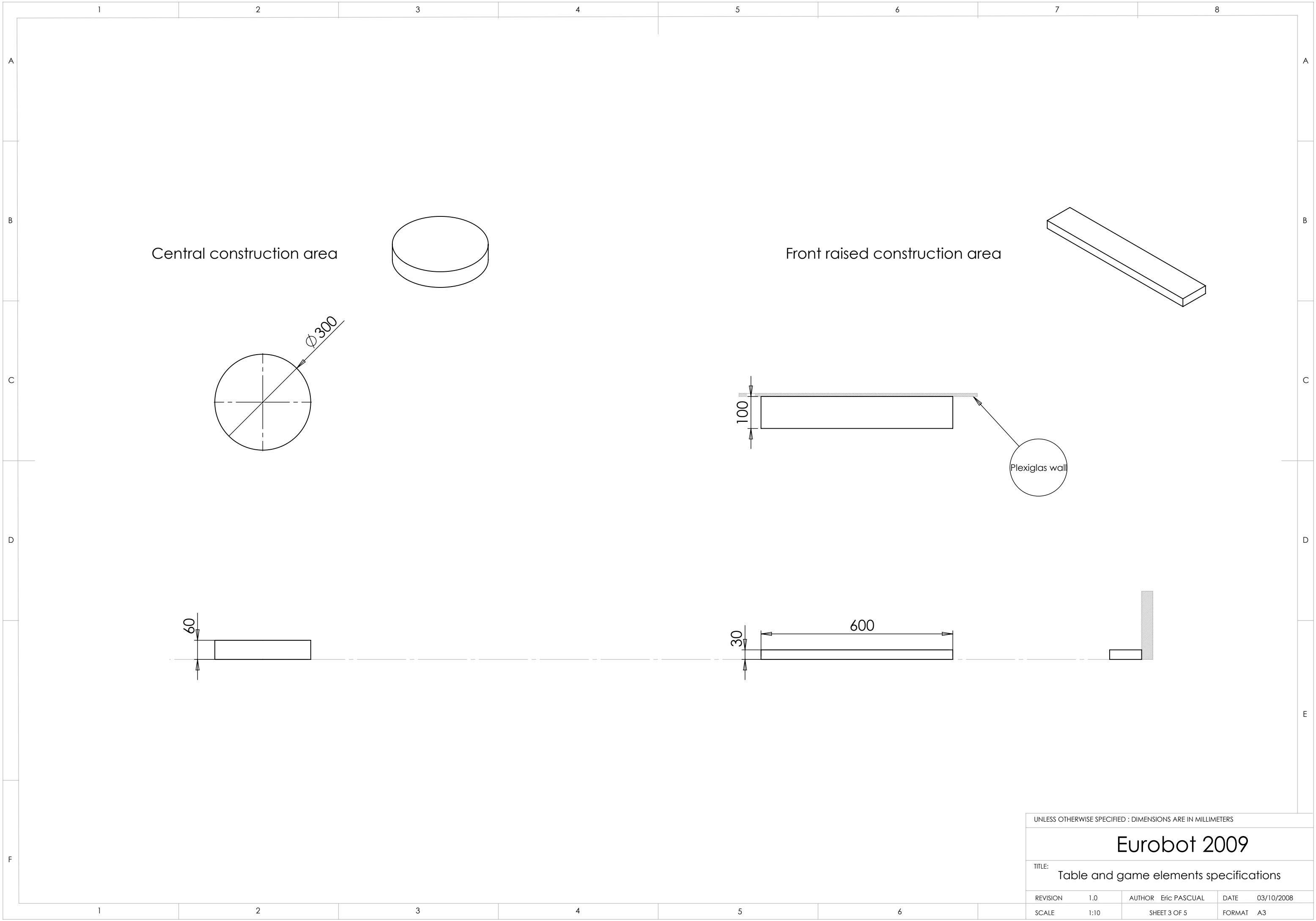


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED : DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

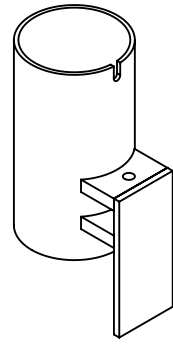
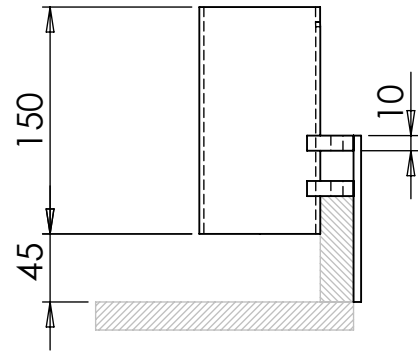
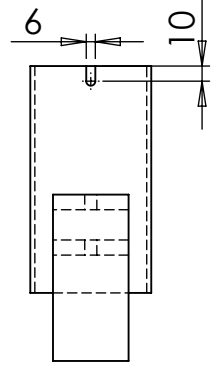
Eurobot 2009

TITLE: Table and game elements specifications

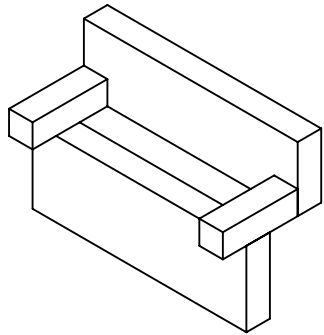
REVISION	1.0	AUTHOR	Eric PASCUAL	DATE	03/10/2008
SCALE	1:10		SHEET 2 OF 5	FORMAT	A3



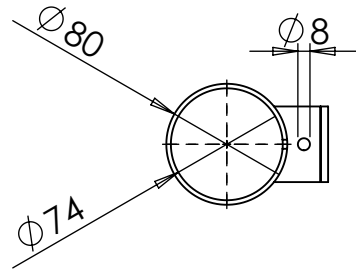
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED : DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				
Eurobot 2009				
TITLE: Table and game elements specifications				
REVISION	1.0	AUTHOR	Eric PASCUAL	DATE 03/10/2008
SCALE	1:10	SHEET 3 OF 5		FORMAT A3



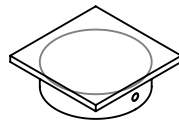
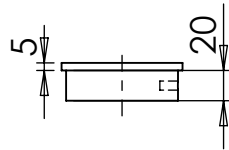
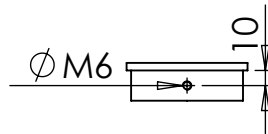
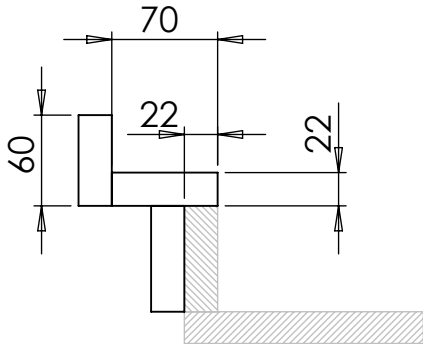
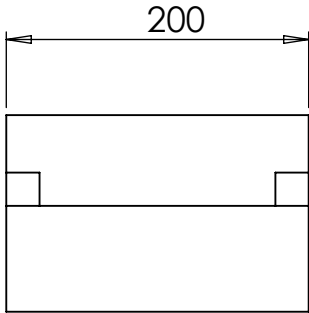
Vertical dispenser



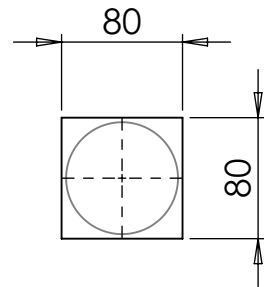
Lintel stand



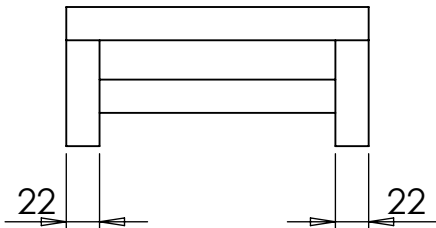
- Notes :
- all parts made of transparent Plexiglas
 - attachement to front Plexiglas wall uses an appropriate spacer
 - D8 holes are for the M8 bolt used to attach the moveable dispensers to the table side walls



Beacon support
for vertical dispensers

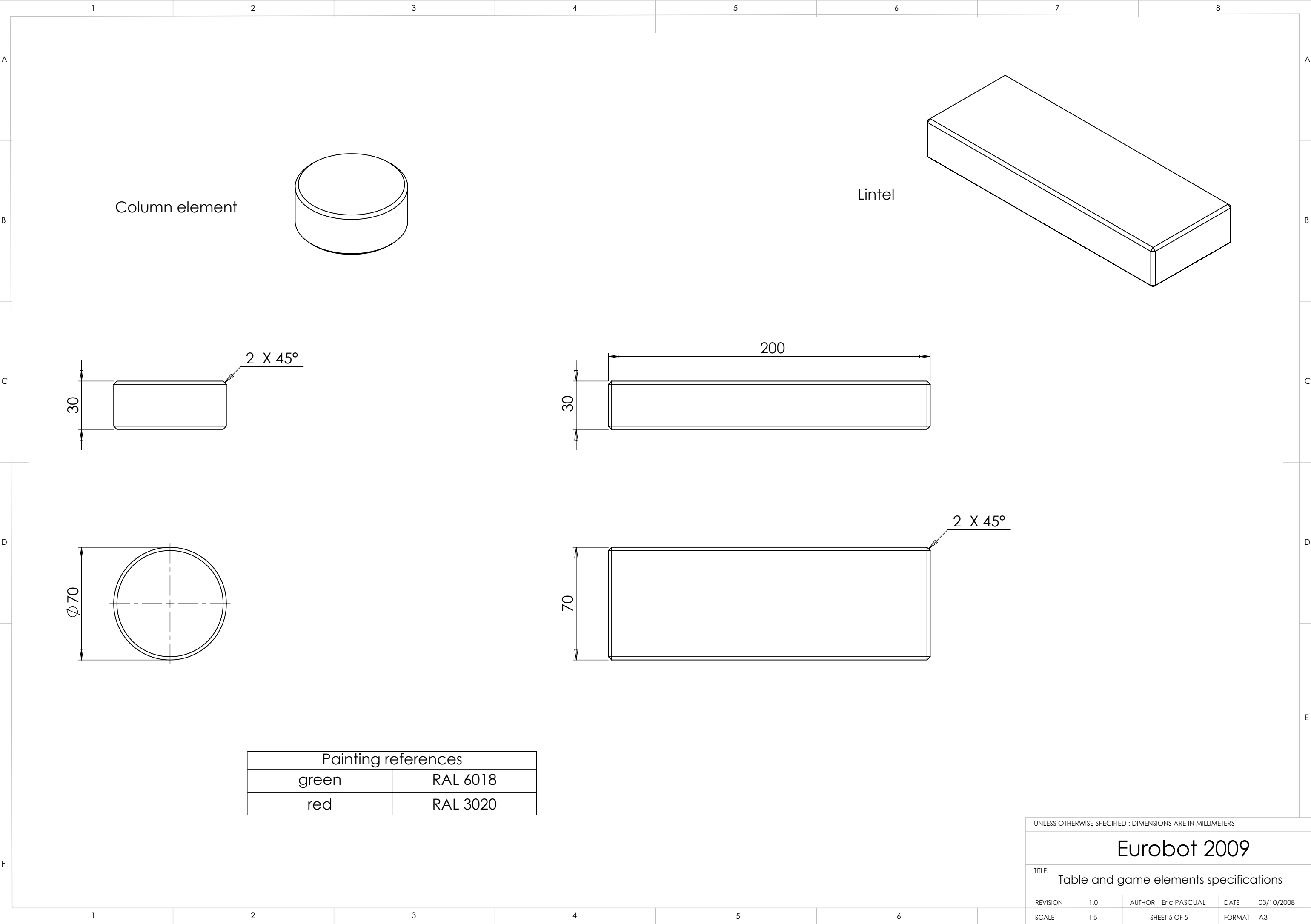


- Notes :
- all parts made of transparent Plexiglas



- Notes :
- all parts made of wood
 - all parts painted in black matte

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED : DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			
Eurobot 2009			
TITLE: Table and game elements specifications			
REVISION	1.0	AUTHOR	Eric PASCUAL
		DATE	03/10/2008
SCALE	1:5	SHEET	4 OF 5
		FORMAT	A3

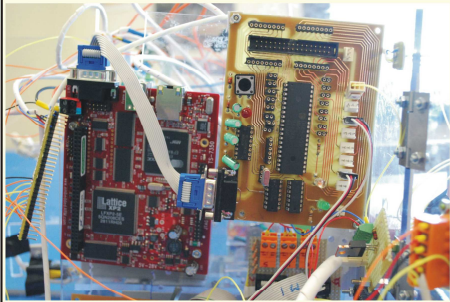


Painting references	
green	RAL 6018
red	RAL 3020

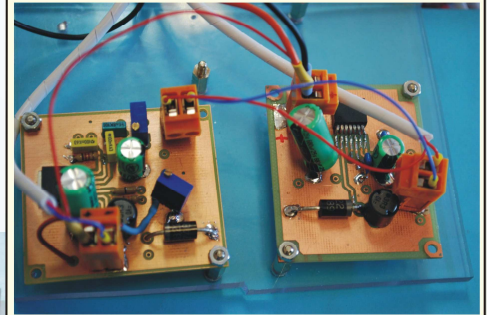
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED : DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			
Eurobot 2009			
TITLE: Table and game elements specifications			
REVISION	1.0	AUTHOR	Eric PASCUAL
DATE	03/10/2008		
SCALE	1:5	SHEET	5 OF 5
FORMAT	A3		

Iron-Paco

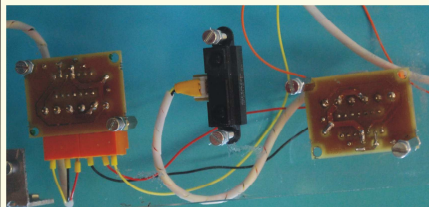
Control System



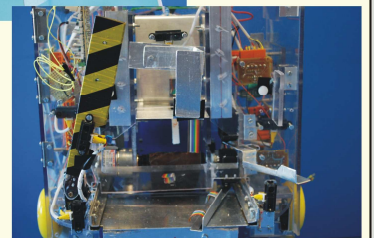
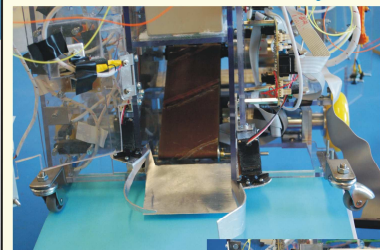
Power Electronics



Perception System



Collected System



Team Members

Laura Navio
Victoria de las Heras
Diego Cantelar
Alberto López
Estrella García
David Álvarez
Erick Arranz

Contributors

Miguel Herraiz
Rodrigo Gómez



Universidad
Carlos III de Madrid

Intelligent Systems Laboratory

Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Carlos III de Madrid

www.uc3m.es/islab

